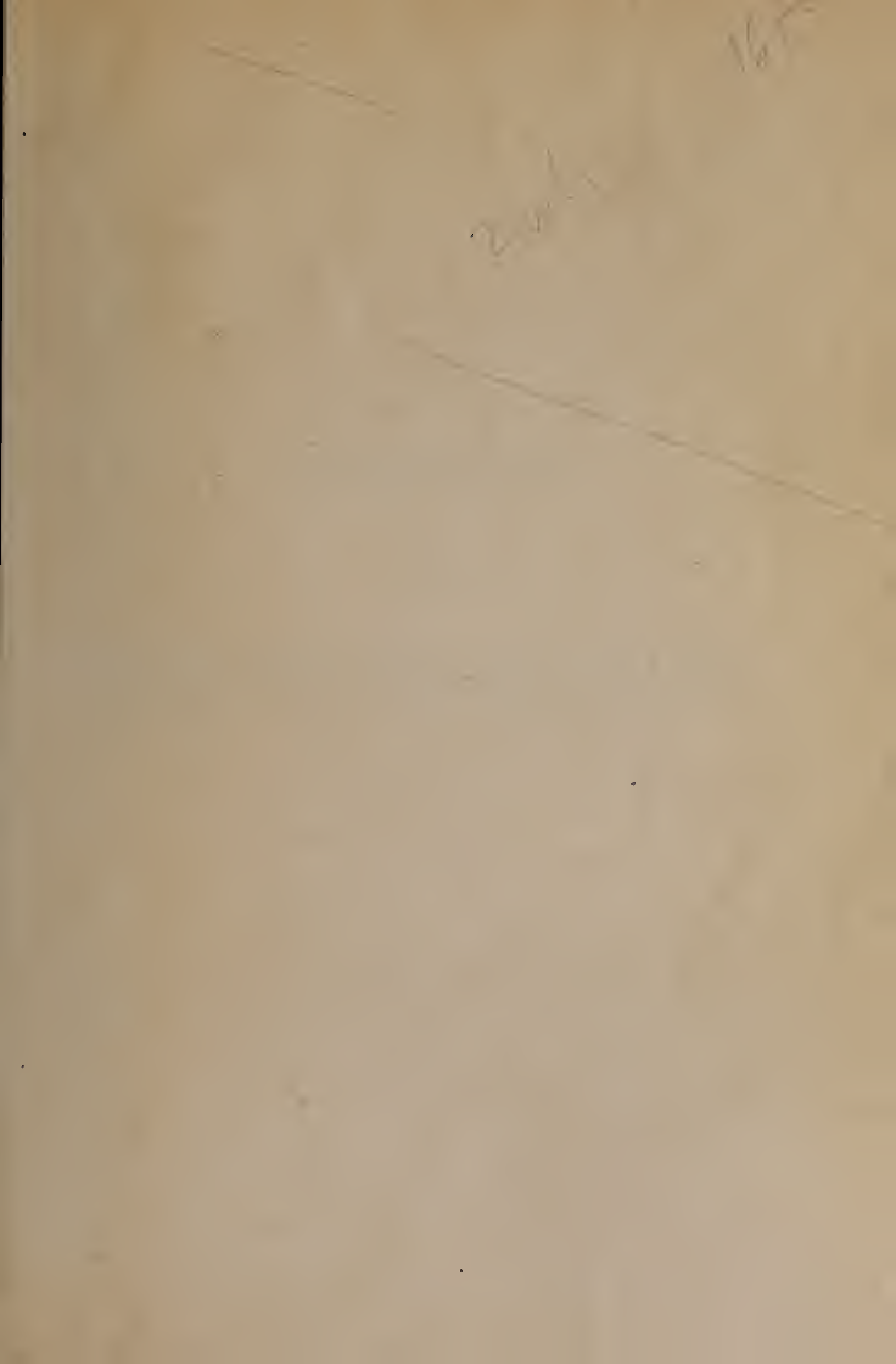












LEHRBUCH

DER

GOTISCHEN KONSTRUKTIONEN.



LEHRBUCH

DER

GOTISCHEN KONSTRUKTIONEN

VON

G. UNGEWITTER.

VIERTE AUFLAGE.

NEU BEARBEITET

VON

K. MOHRMANN,
PROFESSOR AN DER KÖNIGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU HANNOVER.

ERSTER BAND.

MIT 826 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF EINGEHEFTETEN TAFELN.



LEIPZIG,
CHR. HERM. TAUCHNITZ
1901.

Vorwort zur ersten Auflage.

Die in den ersten Dezennien unseres Jahrhunderts in Deutschland allgemein giltigen und selbst jetzt noch in vielfacher Hinsicht äusserst wertvollen Lehrbücher über Landbaukunst von GILLY, WOLFRAM usw. bezeichnen als die drei Haupterfordernisse eines jeden Bauwerkes: die Zweckmässigkeit, die Dauerhaftigkeit und die Schönheit. Letzterer jedoch wird von vornherein eine sekundäre Stellung angewiesen und dieselbe nur insoweit zulässig erklärt, als sie den ersten beiden Eigenschaften nicht widerstrebe.

Diese überaus vernünftige Auffassung ist nur insoweit irrig, als sie die Möglichkeit eines Konfliktes zwischen der Schönheit und ihren bevorzugten Schwestern zulässt, und selbst dieser Irrtum ist begründet durch die damals allgemein herrschenden Begriffe von architektonischer Schönheit. Sie wurde daher allgemein adoptiert, insbesondere zum Glaubensartikel der Staatsbaubeamten gemacht, und war insofern von äusserst nachteiligen Folgen, als die grosse Mehrzahl dieser letzteren, weit entfernt im vorkommenden Falle den Ursachen jenes Konfliktes nachzuforschen und dieselben, soweit möglich, aus dem Wege zu räumen, im Gegenteil sich dabei beruhigte und die in jener Auffassung enthaltene Licenz weiter ausdehnend, selbst die Hässlichkeit als zulässig erachtete. Man sprach das zwar nicht direkt aus, aber man gelangte doch auf diesem Wege zu dem Begriff, und zwar zu dem ausgesprochenen der „schönen Architektur", zu der die gewöhnliche Baupraxis sich gegensätzlich verhielt. Der ersteren gehörten denn beinahe ausschliesslich die in grossen Städten aufzuführenden Prachtbauten, die Paläste, Theater, Museen, der letzteren aber die weitaus überwiegende Mehrzahl der Nutzbauten, der landwirtschaftlichen Kommunalbauten, ja selbst die kleineren Kirchen an*). Dass eine derartige Auffassung, wonach

*) Der Entwurf und die Ausführung einer solchen wird selbst jetzt noch häufig als eine die niedrigste und geringste künstlerische Bildung erfordernde Aufgabe betrachtet. So finden sich hochachtbare Strassen- und Wasserbaumeister, die *sans gêne* erklären, dass, obwohl die eigentliche Architektur ihnen ferne liege, sie doch gar wohl befähigt seien, zu einer Kirche, einem Schulhaus, kurz zu den in ihrem amtlichen Wirkungskreis vorkommenden Bauten die Entwürfe zu machen.

ganze Kategorieen von Werken aller Schönheit bar und ledig zu bleiben hatten, wonach der überwiegenden Mehrzahl der Menschen im Leben nur unschöne Bauwerke und, bei dem alle Handwerke beherrschenden Einfluss der Architektur, nur unschöne Gegenstände zu Gesichte kommen konnten, die endgiltige nicht sein dürfte, sieht sich leicht ein.

Wir haben schon oben die damaligen Schönheitsbegriffe als die Ursachen des gerügten Missverhältnisses bezeichnet. Es waren dieselben aber die der antiken Architektur, wie man annahm, zu Grunde liegenden, deren Formen für alle Zeiten als Ideale zu gelten hatten, an deren Mustergiltigkeit kein Zweifel statthaft sein konnte. Und dabei war man sich doch des gewissenhaftesten Strebens bewusst, diese Formen zu kopieren, man war durch wiederholte Messungen, durch die Einführung des Systems der Model und Partes in den Stand gesetzt, sie nicht nur zu reproduzieren, sondern wo möglich noch korrekter darzustellen, — wie konnte also die Anwendung derselben auf Irrwege führen?

Hatten aber schon die Römer den griechischen Säulenbau nur durch einen gewissen Zwang mit der Anordnung ihrer Bauwerke verbinden können, indem sie die Portiken ihren Mauermassen gleichsam vorschoben, war es ihnen nur durch die königliche Pracht ihrer Ausführung gelungen, das Widerstreitende zu einigen; hatten sie trotzdem an eine Umbildung der Detailformen gehen müssen, so war die Lage der Neueren eine noch weit misslichere. Der durch die Möglichkeit der Benutzung bedingte Organismus ihrer Bauten widerstrebte der Anwendung der griechischen Detailformen in weit höherem Grade, als dies bei den Römern der Fall gewesen war. Die Pracht fehlte, einer Umbildung jener Formen, wie sie etwa die Architekten der Renaissance versucht hatten, stand einmal das geschriebene Gesetz der Partes und Model, dann aber auch der Umstand entgegen, dass die nächste Vergangenheit ein weitaus minder brauchbares Material bot, als dasjenige war, welches das 15. Jahrhundert auf das 16. vererbt hatte. Man war also in der Lage, die Anfügung der antiken Schönheit nur auf eine viel gewaltsamere Weise als die Römer ermöglichen zu können, d. h. man konstruierte auf hergebrachte Weise *tant bien que mal,* und setzte dann gerade soviel Schönheit hinzu, als die Verhältnisse und die Möglichkeit der Benutzung des eigentlichen Baues gestatten wollten.

Diese Schönheit, oder vielmehr die Mittel, sie zu erzielen, sind aber für jede Gattung von Bauwerken dieselben; von der Kirche, dem Palast, dem Museum bis hinab zur Apotheke der kleinsten Provinzialstadt sind es dieselben Frontons, dieselben Säulenordnungen, Gesimse, Fensterbekleidungen

und Verdachungen, welche den Frohndienst zu leisten haben; der Zweck kam dabei gar nicht in Betracht. Ebensowenig konnte das Material irgend Berücksichtigung finden, zumal dasjenige, für welches die angewandten Formen von Bedeutung waren, der Marmor nämlich, dessen Eigenschaften die Entstehung derselben hervorgerufen, nicht zu Gebote stand. Ob man daher die verschiedenen Bestandteile jener schönen Architektur aus Stein, Gyps oder Holz zu bilden sich genötigt sah, das konnte wenig verfangen, die Formen blieben die gleichen.

Da aber die Schönheit, welcher man auf solchem Wege nachtrachtete, mit dem Zweck des Gebäudes in keinerlei Beziehung stand, so musste sie der Zweckmässigkeit widerstreiten, da die Natur des Materials keine Berücksichtigung finden konnte, so musste die Dauerhaftigkeit gefährdet werden. Es war sonach nicht allein die Möglichkeit, sondern beinahe die Notwendigkeit des Konfliktes gegeben.

Wir haben in dem eben Gesagten nur den gewöhnlichen Standpunkt der Baubeamten und Baumeister der antikisierenden Richtung bezeichnen wollen. Dass es in derselben hochbegabte Künstler gegeben hat und vielleicht noch giebt, auf welche unsere Schilderung nicht passt, denen es selbst gelungen ist, jenen toten und fremden Formen ein neues Leben einzuhauchen, sie den modernen Bedürfnissen anzupassen, soll nicht in Abrede gestellt werden. Wie diminutiv aber ist ihre Zahl, wie gering ihr Einfluss auf die grosse Menge der Architekten!

Die Unzulänglichkeit der griechisch-römischen Architektur führte denn auch schon in den dreissiger Jahren auf allerlei das System durchlöchernde Licenzen. Man begann damit, den verschiedenen Stilperioden des Mittelalters gewisse Änderungen, gewisse Einzelformen zu entlehnen und mit der antikisierenden Konzeption des Ganzen zu verbinden, und liess sich auch wohl durch das pikante Ansehen solcher Neuerungen verleiten, den Kreis dieser Licenzen weiter auszudehnen.

Oder aber man verliess von vornherein den Boden der griechischen Architektur, erklärte den Stil der einen oder anderen mittelalterlichen Periode für weiterer Fortbildung fähig oder bedürftig und war bestrebt, diese Fortbildung in einer Veredelung der Einzelformen nach griechischen Prinzipien zu suchen.

Es liegt in der Natur der Sache, dass diese Bestrebungen, jedes einheitlichen Prinzipes ermangelnd, völlig aus der individuellen Ansicht jedes Einzelnen hervorgehend, sich in eine zahllose Menge auseinandergehender Richtungen zerspalten mussten, aus welchen sich dann schliesslich die Idee

herausbildete, dass die jetzige Kunstperiode als ein Durchgangszustand angesehen werden müsse, dass mithin der neue Messias noch zu erwarten sei. Und darin von vorn herein steht diese Idee derjenigen Anschauung gegenüber, welche auf der Ewigkeit des einmal Geborenen beruht, dessen Kirche gegründet ist, alle Verhältnisse durchdringen soll, und eine künstlerische Form gefunden hat, deren Mannigfaltigkeit so ewig ist als sie selbst.

Es möchte nun wenig daran liegen, ob man diese künstlerische Form in dem Stil des 13. oder 12. Jahrhunderts, in dem gotischen oder romanischen oder altchristlichen erblicken will. Wir möchten aber annehmen, dass wenn die romanische Kunst zu den grossartigen Kathedralenbauten des 13. Jahrhunderts nicht ausreichend war, sie den vielgestaltigen Aufgaben der Gegenwart noch weit minder genügen wird, dass aber keine Aufgabe erdacht werden kann, zu deren Lösung aus dem Prinzipder gotischen Konstruktionen die Mittel sich nicht entwickeln liessen.

Dem oben geschilderten absoluten Schönheitsbegriff der antikisierenden Richtung steht dann die Schönheit der gotischen Architektur darin gegenüber, dass sie für jede einzelne Aufgabe eine besondere ist, dass sie für eine jede aus dem innersten Wesen derselben sich konstruiert und als die notwendige Folge der wohlverstandenen Dauerhaftigkeit und Zweckmässigkeit darstellt. Sie gestaltet sich demnach für jeden Einzelteil als die seinem struktiven Zweck angemessenste Form, für das Ganze aber als die der Bestimmung des Werkes am besten dienende und dieselbe zum klarsten Ausdruck bringende Konzeption.

So ist die Schönheit der Kathedrale eine andere als die der Pfarrkirche, die Schönheit des kirchlichen Baues im allgemeinen eine andere als des weltlichen. So ist sie für jede der vielfach verschiedenartigen Aufgaben der weltlichen Baukunst wieder eine besondere, dem Charakter derselben angemessene. Die Einheit aber in der endlosen Verschiedenheit ihrer Lösungen wird durch den Zusammenhang einer jeden mit der Struktur der Kirche hergestellt. So schliesst die Kathedrale die gesamte Formentwickelung aller übrigen Werke in sich, gleichwie der Geist, der unter ihren Gewölben wohnt, alle Räume durchdringt. Gerade dieser Zusammenhang mit der Kirche, dieser Präponderanz des religiösen Charakters in der gotischen Kunst hat man derselben gern zum Vorwurf gemacht und sie deshalb auch wohl für ungeeignet erklärt, weltlichen Zwecken zu dienen. Mit demselben Rechte aber würde man das Individuum tadeln, dessen Religiösität seinen äusseren Wandel durchdringt, oder den, der seine kirchlichen Pflichten erfüllt, für untauglich zu weltlichen Verrichtungen halten. Der Palast, das Rathaus, das

Wohnhaus sind freilich von der Kirche verschieden, aber gebetet wird doch in allen, den durch die Religion sanktionierten Zwecken dienen doch alle, und es würde daher ihre äussere Form dem innersten Kern ihres Wesens widersprechen, wenn sie ihre Entstehung aus der Gestaltung der Kirche nicht zur Anschauung brächten.

Es mag sein, dass der nicht gar seltene Schauder vor dem kirchlichen Charakter der gotischen Profanbauten zum Teil auf Rechnung mancher neueren Übertreibungen zu schreiben ist, bei denen man die Formen des Kirchenstiles in ähnlicher Weise verwandte, wie die antikisierenden Baubeamten mit ihren Säulenordnungen umsprangen; seine tiefere Ursache liegt in einem gewissen Widerwillen gegen alles Entschiedene und Charakteristische, gegen eine jede über die flachste Eleganz hinausgehende Formbildung. Das Trachten nach dieser modernen Eleganz, der gänzliche Mangel aller ernsteren Bestrebungen hat in der grossen Mehrzahl der verschiedenen mit den Eisenbahnen verbundenen Bauwerke seinen Gipfelpunkt erreicht*). Fast hat es das Ansehen, als habe man hier den vielverheissenen Stil der Zukunft mit Dampfkraft erringen wollen.

Wie dem nun auch sei, so viele Richtungen sich im Ganzen geltend machen, der Zug nach der gotischen Kunst ist seit einer Reihe von Jahren im Wachsen begriffen. Man ist es endlich vielfach müde geworden, sich die antikisierenden oder zeitgeistlerischen Konzeptionen oktroyieren zu lassen, mit denen manche Baubehörden so überaus freigebig sind. Kirchliche und weltliche Werke erheben sich aller Orten, welche von der Umkehr von dem seither betretenen Wege, von einem mehr oder minder glücklichen, aber doch immer ehrlichen Streben Zeugnis ablegen.

Nach dem eben Gesagten ist es nun der Zweck unserer Blätter, die verschiedenen Konstruktionen der gotischen Kunst, die Gestaltung der Einzelteile aus ihren verschiedenen Funktionen, aus den Eigentümlichkeiten der Materialien, nach den Werken des Mittelalters zu erklären und die Vereinigung derselben zu einem Ganzen darzustellen. Die Bauwerke, an welche wir uns dabei anlehnen, denen wir die verschiedenen Figuren entnommen haben, sind fast ausschliesslich solche, die wir durch Autopsie kennen. Eine scharfe Scheidung der nationalen Eigentümlichkeiten konnten wir dabei um so weniger eintreten lassen, als dieselben sich auch im Mittelalter nur ungesucht

*) Welcher künstlerischen Ausbildung aber gerade diese Werke fähig gewesen wären, hat vor allen EISENLOHR in den Bauten der badischen Eisenbahn bewiesen. Im Gegensatz zu diesen Werken ist aber die so eifrig gesuchte nichtige Eleganz doch selten oder nie wirklich zu Tage gekommen und dem Anschein nach den Deutschen überhaupt versagt.

entwickelt haben, als man auch damals die von anderen Nationen gewonnenen Resultate, soweit sie erreichbar waren, studierte und benutzte. Wenn wir also jetzt auch in der Praxis denselben Weg betreten, so dürfen wir den Verlust der besonderen Färbungen, welche der gotische Stil je nach den verschiedenen Gegenden angenommen hat, um so weniger befürchten, als dieselben Ursachen, welche sie einst veranlasst haben, zunächst die Verhältnisse des Materials und des Klimas noch jetzt fortdauern. Die Folge der verschiedenen Abschnitte haben wir, soweit möglich, so geordnet, dass jeder einzelne nur die vorhergehenden voraussetzt, und ebenso auch hinsichtlich der Figuren der Übergang von den einfacheren zu den komplizierteren Gestaltungen gewahrt bleibt.

Der Übersichtlichkeit unseres Buches würde vielleicht die Entwickelung der Teile aus dem Ganzen förderlicher gewesen sein. Wir glaubten aber, in einem Buche, welches doch zunächst die dem Anfänger nötige Unterweisung enthalten soll, vor allem die Leichtigkeit der Benutzung berücksichtigen zu müssen.

CASSEL, den 22. Dez. 1858.

G. Ungewitter.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Nach dem Tode des leider so früh dahingeschiedenen verdienstvollen Verfassers, welchen A. REICHENSPERGER in seiner Biographie „GEORG GOTTLOB UNGEWITTER und sein Wirken als Baumeister“ ausführlich schildert, erachtet es die Verlagsbuchhandlung als eine ihr zufallende Pflicht, die notwendig gewordene neue Auflage von dessen „Lehrbuch der gotischen Konstruktionen“ durch einige empfehlende Worte in die davon interessierten Kreise einzuführen. Das Bedürfnis eines Lehrbuches, wie das vorliegende, ist hinreichend anerkannt, die Vortrefflichkeit desselben durch die Tüchtigkeit und den Ruf des Verfassers hinlänglich verbürgt und beide durch die Notwendigkeit einer neuen Auflage genügend bestätigt. Wir sind dadurch aller weiteren Empfehlung des Buches enthoben und beschränken uns, damit das Wirken und Schaffen des Verfassers gebührende Würdigung erfahre, auf dessen Bauten in Norddeutschland und dessen Thätigkeit auf litterarischem Gebiete hinzuweisen. Sein ganzes Denken und Thun gipfelt in dem Streben in unserer Zeit den Sinn für mittelalterliche Kunst zu wecken und zu pflegen und dient, wie alle seine Werke, auch das vorliegende diesem Zweck. Es soll für den ausübenden Künstler und praktischen Architekten einen Führer abgeben, der ihn mit sicherer Hand durch das scheinbare Gewirre gotischer Formen und Konstruktionen leitet und als solcher möge auch diese neue Auflage sich einer günstigen Aufnahme erfreuen.

LEIPZIG, im Januar 1875.

Die Verlagsbuchhandlung.

Vorwort zur dritten neubearbeiteten Auflage.

Georg Gottlob Ungewitter's Lehrbuch der gotischen Konstruktionen ist wie keines seiner Werke berufen, Licht über die Tiefen der mittelalterlichen Bauweise zu verbreiten, und doch hat es sich erwiesen, dass die Zahl der Fachleute, die wahrhaften Nutzen aus ihm geschöpft, nicht im Verhältnis steht zu dem Werte des Inhalts und zu der Bedeutung der Sache.

Einige meist äusserliche Umstände haben zusammengewirkt, das Studium des Werkes in der That etwas beschwerlich zu machen. Die Abbildungen waren getrennt vom Text unübersichtlich zu grossen Tafeln zusammengestellt, der Text selbst war nach Einteilung und Gliederung etwas undurchsichtig und enthielt manche dem Anfänger früherer Jahrzehnte zu Liebe eingeschaltete Breiten. Da es nun nicht jedermanns Sache ist, sein Wissen auf mühsamem Wege zu erwerben, so verzichtete die Mehrzahl überhaupt darauf, das in dem Lehrbuch zusammengetragene Gold zu heben. —

Dieser Umstand und das Bedürfnis nach zeitgemässen Ergänzungen veranlassten die vorliegende Umarbeitung. Das mit der Verlagshandlung vereinbarte Programm verlangte, ohne Überschreitung des alten Umfanges Zusätze und Ergänzungen einzufügen, Breiten zu kürzen, die Figuren in nähere Beziehung zum Text zu bringen und in jeder Hinsicht die Übersicht zu mehren.

Die erste Forderung, das Einhalten des alten Umfanges, war nicht ganz durchführbar. Die bedeutende Erweiterung einzelner Abschnitte und der Zuwachs von nahezu vierhundert Figuren liess sich nicht durch Kürzungen ausgleichen, es hätte denn die Pietät gegen den Verfasser darunter leiden müssen; diese zu üben hielt der Bearbeiter aber für seine erste Pflicht.

Zusätze und Erweiterungen ziehen sich durch das ganze Werk. Völlig umgearbeitet ist der Abschnitt über Gewölbe und neu eingeschaltet ein solcher über Widerlager, dem Tabellen betreffend die Grösse des Wölbschubes und die Stärke der Mauern und Strebepfeiler beigegeben sind.

Die neuerlichen Fortschritte der Statik — besonders der graphischen Statik — auf die Gewölbe und Widerlager anzuwenden, schien unabweisbar,

um so mehr als die wissenschaftliche Forschung sich gerade dem Gebiet der hier in Frage kommenden komplizierteren Konstruktionen fast ganz ferngehalten, oder wo sie dasselbe gestreift, doch oft mit Grundannahmen gerechnet hat, die von der Wirklichkeit abweichen.

Nicht konnte es im Sinne der vorliegenden Arbeit liegen, weitgehende theoretische Entwicklungen durchzuführen, damit wäre dem Architekten wenig gedient. Wohl aber handelte es sich darum, zutreffende und vor allen Dingen brauchbare Grundanschauungen aufzustellen, die ohne langwierige Rechnung und ohne bedeutende mathematische Kenntnisse ein richtiges Urteil über die Wirkung der Kräfte zulassen, und den modernen Baumeister wieder dazu erziehen, die Spannungen in seinen Konstruktionen ebenso zu „fühlen", wie es der alte Meister in seiner uns leider mehr abgehenden Unmittelbarkeit des Empfindens vermochte. Unter diesen Gesichtspunkten hofft der Bearbeiter die eingeschobenen statischen Erörterungen so behandelt zu haben, dass sie das Verständnis der unergründlich vielseitigen gotischen Konstruktionen nicht erschweren, sondern erleichtern.

Die Theoretiker aber unter den Fachgenossen, denen das Neue zu wenig wissenschaftlich dargestellt erscheint, mögen freundlichst in Rücksicht ziehen, dass es sich hier in erster Linie darum handelte, für den Praktiker zu schreiben. An Abhandlungen des Theoretikers für den Theoretiker leiden wir weniger Mangel, wohl aber fehlt es immer noch an der richtigen Überbrückung von der Theorie zur Praxis; wohl an mehr denn neun Zehntel der Bauleute sind die theoretischen Erfolge der letzten Jahrzehnte ohne Einfluss vorübergegangen.

In der Reihenfolge des Stoffes schienen einige Umstellungen geboten. Bisher waren zur Einführung die Profile und das Masswerk vorangestellt, UNGEWITTER schreibt aber selbst in seinem Vorwort, dass vielleicht „die Entwicklung der Teile aus dem Ganzen" der Übersichtlichkeit förderlicher gewesen wäre, dass er aber der Unterweisung des Anfängers Rechnung getragen. Da bei dem inzwischen wesentlich geänderten Bildungsgange Anfänger in dem früheren Sinne wenig mehr in Frage kommen, dürfte es in des ersten Verfassers eigenstem Sinne gehandelt sein, wenn diese beiden Abschnitte an späterer Stelle eingeschoben und noch einige andere Umstellungen vorgenommen wurden. Es sind nunmehr die alles Weitere bedingenden Gewölbe mit den Widerlagern und Stützen vorangestellt, nach ihnen folgt die Gestaltung der Kirche in Grundriss und Aufriss unter Anschluss der verschiedenen Einzelkonstruktionen.

Die Übersichtlichkeit des Werkes zu heben ist nach jeder Richtung

angestrebt, der Stoff ist in mehr Unterabteilungen zerlegt, eine zweifache Letterngrösse scheidet den fortlaufenden Text von den Einschaltungen und Erläuterungen, oben und seitlich am Rande ist eine nähere Inhaltsangabe zugefügt, und überdies werden die Figuren als sprechende Wegweiser dienen.

Die Abbildungen sind nur zum Teil in den Drucktext eingeschoben, in überwiegender Mehrzahl aber, um die frühere Klarheit des Druckes zu erhalten, auf besonderen ungeknifften Tafeln von Buchgrösse an jeweiliger Stelle eingeheftet. In der Zufügung neuer figürlicher Beispiele wäre gern noch mehr gethan, wenn nicht der ohnedies überschrittene Raum Einhalt geboten hätte.

Eine Erweiterung des Lehrbuches nach den weniger ausführlich behandelten Gebieten des Ziegelbaues, der Profankunst und des inneren Ausbaues vorzunehmen, war bei dem bisherigen Umfange nicht thunlich, jedoch ist es ins Auge gefasst, diese Abschnitte als besondere Arbeiten dem Werke anzuschliessen.

An dieser Stelle drängt es den Unterzeichneten, seinem Altmeister und Lehrer C. W. HASE zu Hannover, der ihn zu der Neubearbeitung vermocht, in hochschätzender Verehrung seinen Dank für Rat und Anregung auszusprechen.

RIGA, im Mai 1889.

K. Mohrmann.

Vorwort zur vierten neubearbeiteten Auflage.

Die neue Bearbeitung des Lehrbuches der gotischen Konstruktionen bewegt sich in der Richtung weiter, die bei der vorigen Auflage eingeschlagen ist und die sich bewährt zu haben scheint. Es sind wiederum zahlreiche Abbildungen eingefügt und Texteinschaltungen gemacht, welche neueren Forschungen und Aufnahmen Rechnung tragen. Durch das gleichzeitig in erweiterter Auflage erscheinende gotische Musterbuch erhalten die Abbildungen des Lehrbuches noch eine wünschenswerte Ergänzung.

HANNOVER, im September 1901.

K. Mohrmann.

I. Die Gewölbe.

1. Die Entwicklung der Wölbkunst von den Römern bis zur Gotik.

Die Gewölbe der Römer.

Die Gewölbebildungen der römischen Baukunst.

Die römische Kunst kennt in ihren Wölbungen nur zwei Grundformen:

1. das Tonnengewölbe in Form eines halben Cylinders (Fig. 1),
2. die Kuppel in Gestalt einer Halbkugel (Fig. 2).

Beide entspringen aus ein und derselben Erzeugungslinie „dem Halbkreise“ — die eine durch seitliches Verschieben, die andere durch Drehen.

Das Tonnengewölbe überdeckt rechteckige Räume, die Kuppel solche mit kreisrundem Grundrisse. Mit dem Kreise und dem einfachen Rechtecke gab sich aber die reiche Grundrissentfaltung der Römer nicht zufrieden, sie verlangte daneben wechselvoller gegliederte Räume. Freiere Grundrissbildung bedingt aber auch freiere Gestaltung der Decke, die in der Erzeugung von Abarten der obigen beiden Wölbformen ihren Ausdruck findet.

Besonders wichtig sind die Bildungen aus dem Tonnengewölbe. Wenn im Grundrisse zwei verschieden breite rechteckige Räume quer aufeinander treffen, so schiebt sich die Tonne des kleineren in die des grösseren hinein, es ergiebt sich dadurch die Form der Stichkappe (vergl. Fig. 3).

Durchkreuzen sich in dieser Weise zwei völlig gleichwertige rechteckige Räume, so bildet der Zusammenschnitt ihrer Wölbungen die gesetzmässige Form der gekreuzten Tonne oder des Kreuzgewölbes (vergl. Fig. 4).

Nachdem man solcher Art auf letztere bedeutungsvolle Form geführt war, machte man sie sich zu nutze; so durchsetzte man die Tonne eines rechteckigen Raumes mit nebeneinander gereihten Quertonnen, um an den Längswänden hochliegende Lichtöffnungen zu gewinnen (Fig. 5). Man war dadurch zu einer fortlaufenden Reihe von Kreuzgewölben über einem langgestreckten Raume gelangt. (Basilika des Maxentius, Galerie des Palatinischen Palastes.)

Es erübrigte nunmehr nur noch des einen Schrittes, das Aneinanderreihen sowohl in der Längs- als in der Querrichtung vorzunehmen, und es war die Aufgabe gelöst, einen weiten Raum auf Einzelstützen gleichmässig zu überwölben

(vergl. Fig. 6). Es findet sich diese Lösung in den Thermen und den Innenräumen des Kolosseums.

Eine ähnliche Erweiterung erfuhr die Verwendung der Kuppel. Wenn im Grundrisskreise des Kuppelraumes irgend eine Wand in Richtung einer Sehne aufgeführt wird, so schneidet sie sich oben in die Kuppel in Gestalt eines Halbkreises ein (da ja jeder Schnitt einer Ebene mit einer Kugel eine Kreislinie giebt). Schliesst man nun im Grundrisse solche Wände aneinander in Form irgend eines dem Kreise einbeschriebenen Vieleckes, so endet in gleicher Weise jede Wand oben als Halbkreis. Der zwischen den Wänden noch verbleibende Teil der Kuppel aber gewinnt den Charakter einer selbständigen Deckenform, welche die Überspannung eckiger Räume als Viereck, Achteck usf. ermöglicht, man bezeichnet sie als Kuppelausschnitt oder Stutzkuppel (Fig. 7 und Fig. 12). Die Stutzkuppel tritt erst in späterer Zeit und zwar vorwiegend in der östlichen Reichshälfte auf. (Beispiele: Zisternen des Konstantin zu Byzanz und Grab der Galla Placidia zu Ravenna.)

Als weitere Abarten der Kuppel sind noch die Halbkuppel zur Überdeckung von Nischen und schliesslich die Walmkuppel zu erwähnen. Letztere, auch Klostergewölbe genannt, kann ebensowohl vom Tonnengewölbe als von der Kuppel hergeleitet werden (Beispiel: Tempel der Minerva Medica zu Rom, vergl. Fig. 8).

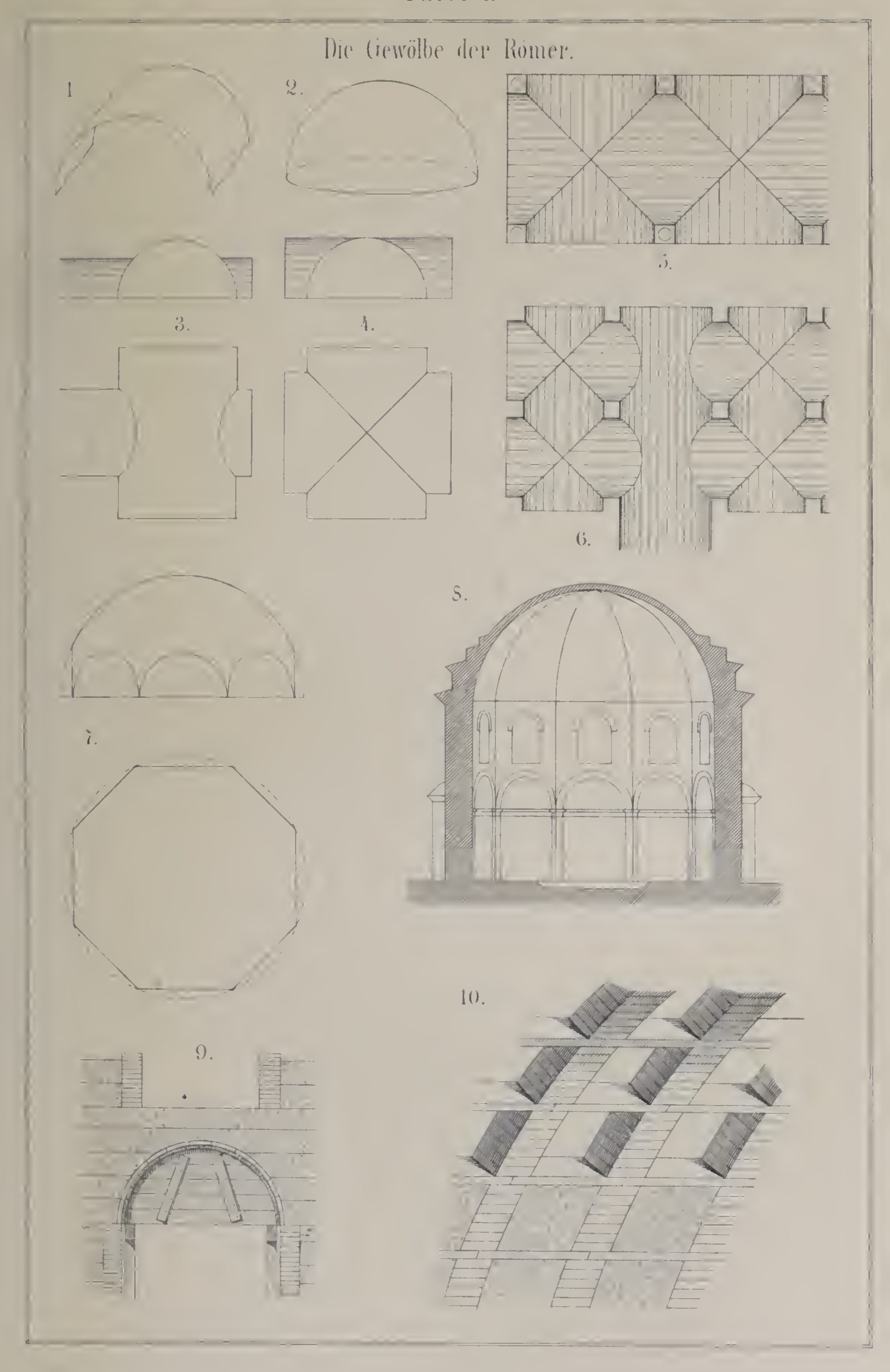
Vorstehend genannte Formen schliessen etwa alles in sich, was die römische Wölbkunst geschaffen. Sie sind an dieser Stelle aufgeführt, um zu zeigen, in welcher unmittelbaren Weise sie sich aus den „Raumgestaltungen“ herleiten, ohne dass die „Bedingnisse der Konstruktion“ viel dabei mitzusprechen scheinen. Letzterer Umstand erklärt sich aus der römischen Technik.

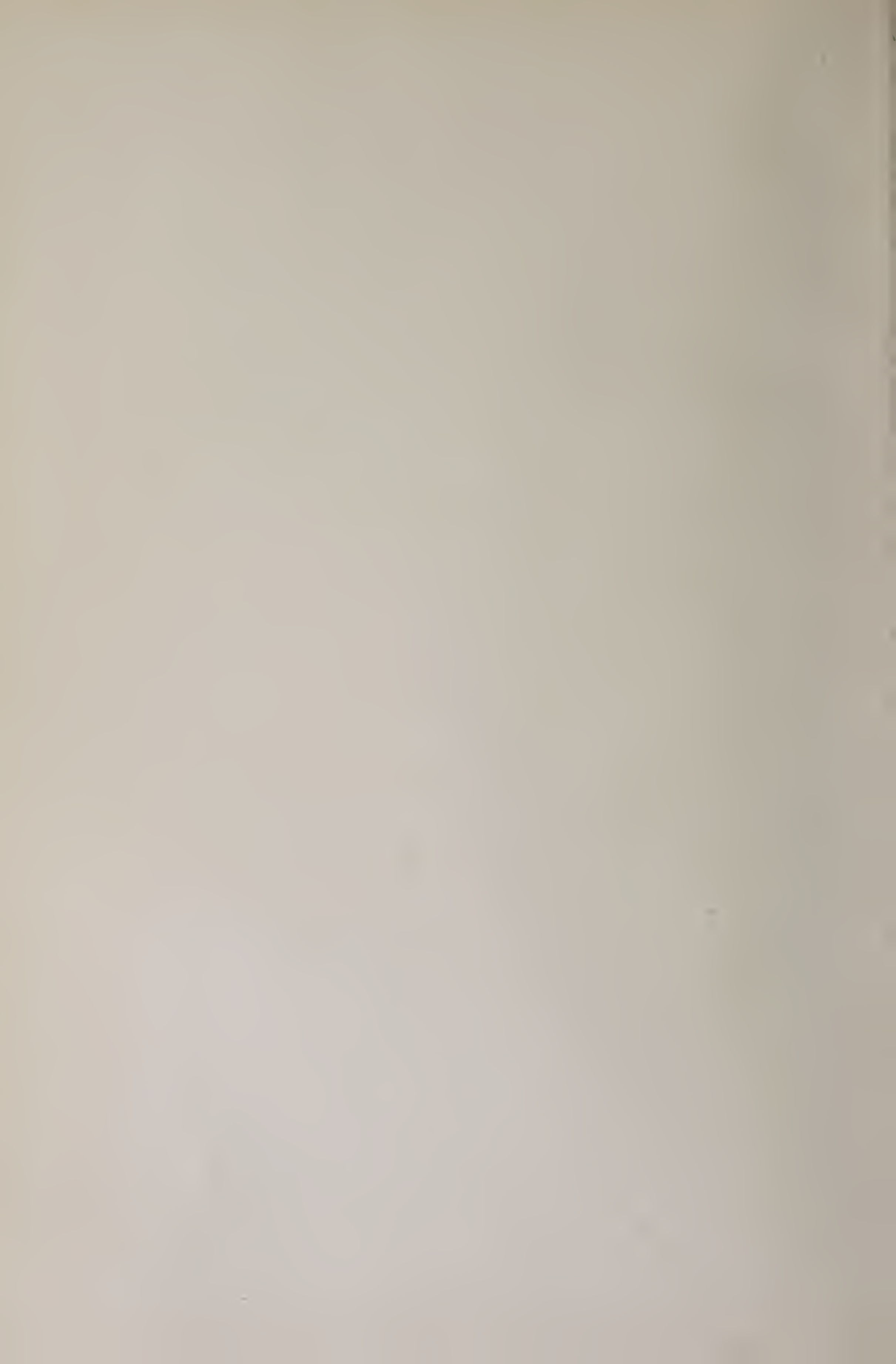
Herstellungsweise der römischen Gewölbe.

Schichtenweise Herstellung der Gewölbe in Werkstein oder Backstein wurde zwar von den Römern geübt, für die Überdeckung der architektonischen Innenräume bildete aber immer mehr das Gussmauerwerk die Regel. Vielfach war die Ausführung desselben weit von unseren jetzigen Gewohnheiten abweichend. Man stellte der Wölb- oder Bogenform gemäss ein Lehrgerüst her, legte darüber eine Schale aus dünnen, fest aneinander schliessenden Steinplatten und brachte sodann das Gusswerk in „horizontalen“ Schichten auf, genau so, wie dies bei dem übrigen Mauerkörper geschah (vergl. Fig. 9). Dass derartige Überdeckungen hielten, war natürlich zunächst dem innigen Zusammenkleben der grossen Mörtelmassen zu danken. Verliess man sich aber einmal auf letztere, so konnte man in gebotenen Grenzen (vergl. Seite 48) die Form der Gewölbe, unbekümmert um die Herstellung, vorzugsweise nach Rücksichten auf die architektonische Erscheinung festsetzen, was durch unabänderliche Verwendung der Halbkreisform geschah.

Für die weitgespannten Überdeckungen grosser Räume konnte natürlich ein einfaches Verfahren wie das vorstehende nicht ausreichen, hier bekundet sich der praktische Sinn der Römer in der Einführung sorgsam durchgebildeter Ausführungsmethoden. Dahin gehören die vereinzelt auftretenden Topfgewölbe, besonders aber die vergossenen Zellengewölbe. Man stellte für letztere auf der Schalung aus den üblichen grossen, dünnen Ziegelsteinen ein netzförmiges Skelett her, dessen Zellen man nachher mit Gusswerk ausfüllte (Fig. 10).

Tafel I.





Die Bedeutung des Ziegelgerippes beruht darauf, dass es eine bequeme und gesicherte Ausführung gewährleistet. Sobald es bei Beendigung des Gewölbes von Mörtel umhüllt ist, hat es seine Hauptaufgabe erfüllt; die Wölbung wirkt dann wie jedes andere Gussgewölbe als eine einheitliche durch das Binden des Mörtels gehaltene Masse. Die Scheitelstärke solcher grosser Gewölbe pflegt zwischen 1,2 nnd 3 Metern zu schwanken, da man mehrere Lagen übereinander legte.

Beim Tonnengewölbe bildet das umschlossene Ziegelgerüst meist viereckige Felder, von denen sich eine gewisse konstruktive Rechtfertigung der Kassettenbildung herleiten lässt. Bei den Kuppeln dagegen nimmt das Geripp häufig die Form von, in der Wölbfläche liegenden, aufeinander gestützten Entlastungsbogen an. Hervorragende Beispiele dieser Art liefern das Pantheon, der Tempel der Minerva Medica und zahlreiche weitere Baureste zu Rom, Tivoli usf. Ausführliches bietet das beachtenswerte Werk; CHOISY, l'art de bâtir chez les anciens Romains.

Die Technik der Römer war sehr entwickelt und sehr mannigfaltig. In einer Hinsicht aber verfolgt sie immer dasselbe Ziel: mochte eine Ausführung in Werkstein, Ziegel oder Mörtelguss vorliegen, stets wurde es erstrebt, sowohl Gewölbe als Mauern zu einem einzigen, starren, zusammenhängenden Körper zu machen, der sich bei Anhäufung gewaltiger Massen zu einem fast unverwüstlichen Monumentalwerk gestaltete.

Die Gewölbe der altchristlichen Zeit.

Die Kunst im Westen.

Die altchristliche Kunst im Westen zehrte in den ersten Jahrhunderten fast ausschliesslich von dem Erbe der Römer, besonders in Hinsicht auf die Technik. Die Überlieferungen verwischten sich aber allmählich immer mehr, was einerseits einen Rückgang in der Güte der Ausführung, anderseits aber den Zwang zur Aufsuchung neuer Wege hervorrief. In zwei Richtungen lässt sich unter teilweisem Einfluss des Ostens eine gewisse Umgestaltung nicht verkennen: man strebt vielfach bewusst danach, die Mauermassen einzuschränken, und man weicht häufiger von der alten Gusstechnik ab. So lässt sich an den Gewölben mehr als früher ein „reihenweises Anordnen" von Steinen wahrnehmen, die von oben durch Mörtelwerk vergossen wurden. Die Richtung dieser Reihen ist sehr wechselnd, wie überhaupt die altchristliche Zeit viele lehrreiche tastende Versuche zeigt, die eine eingehendere Würdigung verdienten, als sie ihnen bisher zu teil wurde.

Dem neuerdings immer mehr hervortretenden Streben, die altchristliche Kunst so ganz und gar als den Ausgang der Antike oder als die letzte Staffel des römischen Kunstverfalls darzustellen, können wir uns nicht anschliessen. Eine schroffe Trennung, die man früher sah, ist zwar nicht vorhanden, das langsame Hineinwachsen eines neuen Geistes ist aber unverkennbar. Selbst in der Verödung und Verarmung der römischen Formen lässt sich ein Überleiten in neue Wege fühlen. Einen glanzvollen Aufschwung darf man von jenen Jahrhunderten nicht verlangen, sie geboten dem greisenhaften Hinsiechen der übermüdeten, alten Kunst keinen Einhalt; sie sammelten aber alle Bestrebungen auf einen Punkt, und das ist die erste Grundbedingung für das Erwachsen einer neuen Stilblüte. Was für die Griechen der Tempel war, sollte für das Mittelalter die Basilika

werden, und für deren Gestaltung die Grundlage, allerdings auch nur diese gelegt zu haben, ist Anteil der altchristlichen Zeit: der ganze lebensvolle Aufbau blieb der Thatkraft jugendfrischer Völker vorbehalten.

Die Kunst im Osten.

Reger als im westlichen Europa vollzieht sich die Fortentwicklung im Osten. Während man im Westen mit grösserer Vorliebe die nur wenig umgestaltete, alte, flachgedeckte Basilika aufnahm, giebt im byzantinischen Reiche die stärkere Bevorzugung des Zentralbaues Anlass zu Neubildungen. Besonders treten in der Wölbkunst zwei wichtige Errungenschaften hervor, „die Kuppel auf Zwickeln und das überhöhte Kreuzgewölbe.“ Beide sind an der Sophienkirche in Konstantinopel ihrer ganzen Gestaltung nach klar ausgesprochen. Vorläufer hatten sie zwar schon früher, aber erst zur Zeit Justinians scheinen sie zu ihrer selbständigen Entfaltung gelangt zu sein.

Die Kuppel auf Zwickeln bringt den sehr kühnen Gedanken zur Ausführung, eine voll ausgebildete Kuppel auf vier einzelnen Eckpfeilern zu errichten (Fig, 11). Der Grundkreis der Kuppel liegt gänzlich innerhalb des Pfeilervierecks, es wird daher kein einziger Punkt direkt unterstützt, vielmehr muss die gesamte Last mittelbar durch Zwickel und Gurtbogen den Pfeilern zugeführt werden. Die Zwickel bilden Ausschnitte aus einer grösseren Kugelfläche, deren Durchmesser der Diagonale des Wölbfeldes entspricht. Nicht minder bedeutungsvoll war die Erfindung des überhöhten Kreuzgewölbes, dessen Herstellung unten weiter beschrieben werden soll.

Um einen viereckigen Raum zu überspannen, hatte man jetzt neben der Tonne und dem gewöhnlichen Kreuzgewölbe drei neue Lösungen:

1. die Zwickelkuppel (Fig. 11), 2. die Stutzkuppel oder böhmische Kappe (Fig. 12), 3. das überhöhte Kreuzgewölbe (Fig. 13).

Herstellungsweise der byzantinischen Gewölbe.

Die byzantinische Technik weicht wesentlich von der römischen ab, sie kennt nicht das römische Gusswerk, sie verwendet Steine in dicken Mörtelfugen und übt bei den Gewölben in ausgedehntem Masse das freihändige Mauern ohne Lehrgerüst. Die Kunst des Ostens war schon unter der Römerherrschaft ihre eigenen Wege gegangen, es war vieles vom griechischen Geiste verblieben und die Technik war in den Provinzen in nähere Beziehung zu den Überkommnissen der alten Kunstblüten in Persien, Assyrien und Egypten getreten. Hier hatte man die uralte und zugleich ursprüngliche Kunstfertigkeit des freihändigen Wölbens hoher kuppelartiger sowie auch tonnenförmiger Räume kennen gelernt.

Wo sie es mit Werkstein oder schwerem Bruchstein zu thun hatten, da bevorzugten allerdings auch die Oströmer das Lehrgerüst, sobald aber nach Augustus der gebrannte Ziegelstein überall wieder zu Ehren gelangte, da waren dem freihändigen Wölben die Thore geöffnet.

Die Kuppeln wölbte man fast immer in horizontalen Ringen, deren jeder sich nach Fertigstellung verspannte. Um das Gleiten der Steine in den oberen Schichten zu verhüten, pflegte man die Lagerfugen hier etwas flacher (fauler) zu halten (Fig. 11a), wenn man nicht den oberen Teil einfach spitzbogig oder kegelförmig hinaufzog (Persien, Arabien). Die Zwickel sind nicht übergekragt, sondern in Wölbschichten hergestellt, was übrigens statisch ziemlich gleichwertig ist. Die Grundlinie der Kuppel weicht oft etwas vom Kreise ab, da man vorsichtshalber die Zwickel in den vier Ecken etwas mehr zurückhielt. Die Kuppeln der Markuskirche zu Venedig zeigen — vielleicht unabsichtlich — die umgekehrte Abweichung.

Die Tonnengewölbe werden gewöhnlich in Querschichten oder stehenden Ringschichten gewölbt (Fig. 12f und 12g), jede Schicht bildet einen in sich haltbaren Bogen; so lange er noch nicht geschlossen ist, müssen sich die Steine durch Ankleben an der vorigen Schicht halten. Um letzteres zu erleichtern und ein Herüberweichen der Schichten oben zu verhüten, wurden sie oft nach Art von Fig. 12h und 12i geneigt oder nach kegelartigen Ringen (Fig. 12k) geführt. Vielfach begannen erst die Querschichten in einer Höhe, wo die liegenden Schichten unbequem wurden, überhaupt ist ein Wechsel der Schichtenlage je nach den augenblicklichen Umständen zu beobachten. Sehr rationelle Tonnengewölbe solcher Art haben schon die Egypter unter der 19. Dynastie ausgeführt (Lepsius, Denkmäler aus Egypten I, Bl. 89).

Die Kreuzgewölbe der Byzantiner erhielten wie die Tonnen in jeder Kappe stehende Querschichten, die sich an den Graten in Verschränkung wechselseitig gegeneinander stützten und freihändig aufgemauert wurden (Fig. 13). Choisy, der zuerst über die ganze byzantinische Bauweise Licht verbreitet (l'art de bâtir chez les Byzantins), glaubt, dass man der Lehrbogen selbst nicht einmal unter den Kreuzgraten bedurft hätte. Soweit vermögen wir ihm allerdings aus statischen Gründen — wenigstens bezüglich der grösseren und wenig überhöhten Kreuzgewölbe — nicht zu folgen.

Die Grate der überhöhten Kreuzgewölbe haben fast immer die Form eines Kreisstückes, das etwas niedriger als ein Halbkreis ist. Jede beliebige Schicht mn bildet einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt p auf der Grundachse xx liegt, ihre Biegung liess sich leicht nach einem um p drehbaren Faden ausführen. Bei dieser Grat- und Schichtenform muss der Scheitel die in Figur 13 hervortretende geschweifte Linie annehmen, welche die Gewölbe in der That aufweisen, die man allerdings auch bei manchem Beispiel zu umgehen suchte, z. B. durch flachere Schildbogen (elliptische Grate würden gleichfalls einen anderen Scheitel ergeben). Die Grate des byzantinischen Kreuzgewölbes treten unten an den Anfängen sehr stark hervor, während sie oben am Scheitel fast ganz verschwinden. Wächst die Pfeilhöhe so weit, dass der Grat zum Halbkreise wird, so geht bei derselben Ausführungsweise von selbst das Kreuzgewölbe in die Stutzkuppel über.

Die Stutzkuppel zeigt Ringschichten (Fig. 12a), Querschichten wie das Kreuzgewölbe (12b), Schrägschichten (Fig. 12c) und schliesslich auch einen Wechsel der beiden vorigen (Fig. 12d und 12e). Ein solcher Wechsel überträgt sich auch vielfach auf die Zwickelkuppel.

Die Wölbtechnik war den Byzantinern von älteren Völkern übererbt, trat aber unter der Herrschaft der Architektur weniger bestimmend hervor. Erst als Byzanz seine Bedeutung als unabhängiger Mittelpunkt eines grossen christlichen Reiches erworben, besonders seit dem VI. Jahrhundert, da gelangte seine Bauweise zu einem bestimmteren Ausdrucke. Die Bedingnisse der Konstruktion machten ihre Ansprüche auf eine gewisse Führerschaft etwas sicherer geltend als bisher. Das half aber den in dieser Richtung liegenden Bestrebungen des folgenden Mittelalters die Wege ebnen.

Während der Westen den Grundtypus der Kirche festlegte, lockerte der Osten den Zwang der Architekturform zu Gunsten einer grösseren Vorherrschaft der Konstruktion.

An Berührungspunkten zwischen dem Osten und dem Westen fehlte es nicht, die Jahrhunderte lange oströmische Herrschaft in Ravenna und Venedig, lebhafte Handelsbeziehungen, das Berufen griechischer Meister und Werkleute an die Höfe des Abendlandes und später schliesslich die Eindrücke, welche die Kreuzfahrer und Pilger heimbrachten, unterhielten einen genügenden geistigen Austausch.

Die Überlieferungen Roms zogen sich einer fortlaufenden Kette gleich in die neuerblühende Kunst hinein, den Einschlag lieferte Byzanz und wo immer einer der alten Fäden zu Ende ging, da knüpften die Meister ihr eigenes, kräf-

tiges Gespinnst hinein, bis schliesslich ein ganz neues Gewebe unter neuer, kunstgeübter Hand erstand. Unter diesem Bilde kann man sich das Werden der romanischen Kunst vorstellen, deren letzte Aufgabe darin gipfelte, die einst balkengedeckte römische Basilika nach byzantinischem Vorgang in neuer Auffassung monumental zu überwölben. Sobald dieses Ziel erreicht war, trat die in diesem Kampfe geborene Gotik ein.

Einführung des Gewölbes in die romanische Basilika.

Einfuhrung des Gewölbes in die romanische Basilika.

Die Holzdecke wurde mehr und mehr durch die massive Überdeckung verdrängt. Neben der vornehmen, monumentalen Erscheinung der oströmischen Werke waren die immer wiederkehrenden Feuersbrünste Triebfeder genug, nach einer Wölbung zu verlangen. Kleinere einschiffige Kirchen gingen mit der Wölbung voran. Aber auch in den Basiliken war die Überwölbung in allen Teilen wo sie leicht ausgeführt werden konnte, rasch zur Regel geworden; so kehrt sie immer wieder bei der Apsis, die mit einer Halbkuppel geschlossen wurde, ebenso findet sie sich stets in der Krypta, welche meist Kreuzgewölbe in altrömischer Ausbildung erhielt.

Leicht war es auch noch, die Seitenschiffe zu überdecken, sie erscheinen daher vielfach überwölbt, wo sich der Hauptraum des Bauwerkes, das Mittelschiff, noch mit einer Balkendecke begnügen musste. Als Formen für die Seitenschiffgewölbe treten die Längstonne mit und ohne Stichkappen, die quergelegte Tonne und das Kreuzgewölbe auf.

Bis soweit hatte sich die Überwölbung leicht vollzogen, es blieben aber noch zwei Stellen im Kirchengrundrisse zurück, deren Bewältigung sich zu den bedeutungsvollsten Aufgaben der mittelalterlichen Kunst gestalten sollte. Das waren:

1. die Überwölbung des Mittelschiffes,
2. die Überwölbung des Chorumganges.

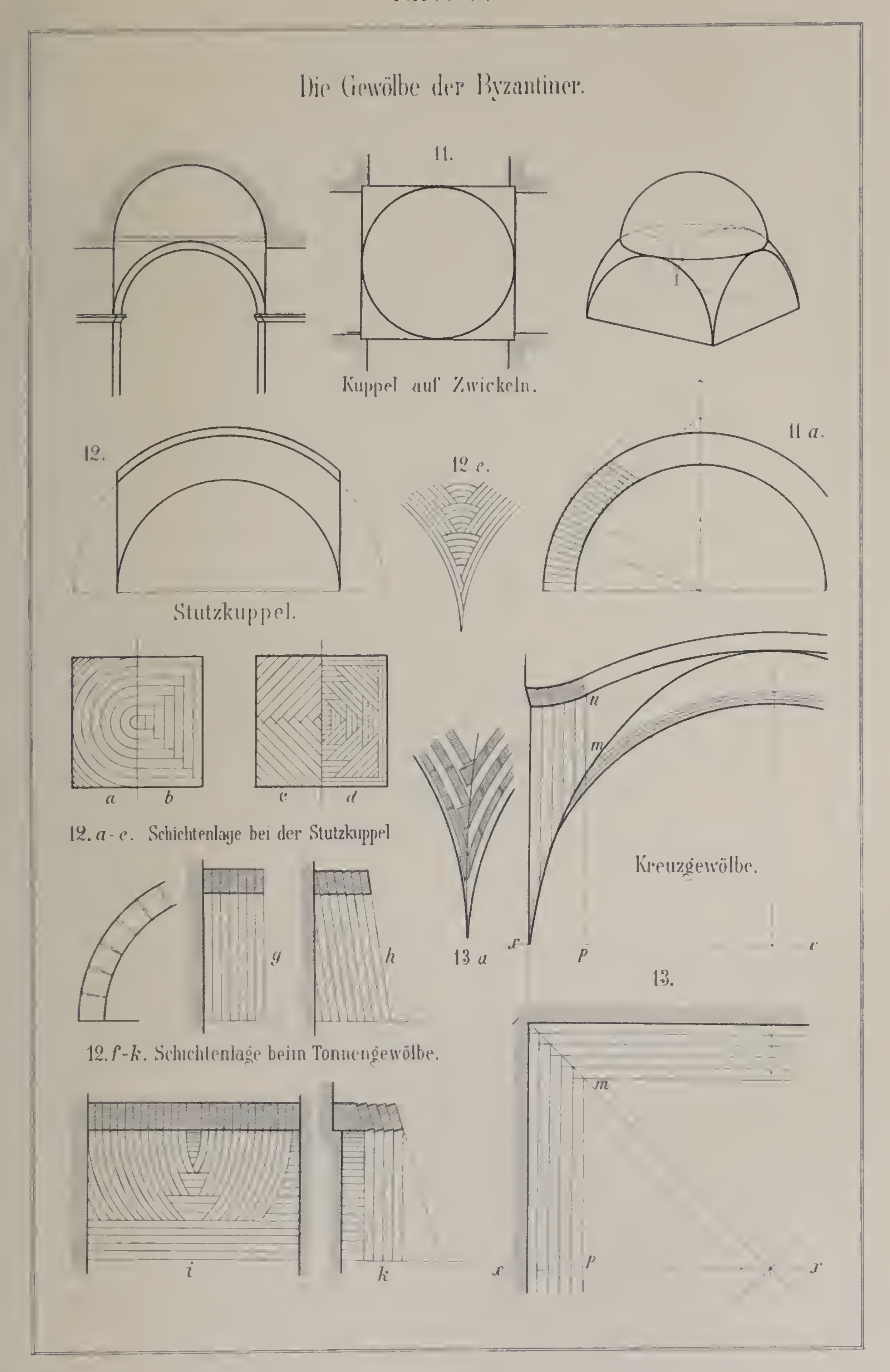
Letztere Bereicherung des Chores war seit dem elften Jahrhundert hervorgetreten und gelangte bald für die meisten grossen Anlagen, besonders für die Dome, in Aufnahme.

Das Erringen jener beiden Ziele bildet die Spitze aller architektonischen Bestrebungen vom Ende des XI. bis zum Beginne des XIII. Jahrhunderts. Um diese Zeit waren die alten Stätten der Kunst, Rom und Byzanz, fast ganz zurückgetreten, der Schwerpunkt hatte sich nach dem Nordwesten auf die jugendfrischen Völkerschaften im heutigen Deutschland, Frankreich und England übertragen. Hier entspann sich ein Wettkampf um das Erringen des Vollkommenen, aus dem schliesslich als glänzendes Resultat in raschem, siegesbewussten Emporblühen die gotische Bauweise hervorging.

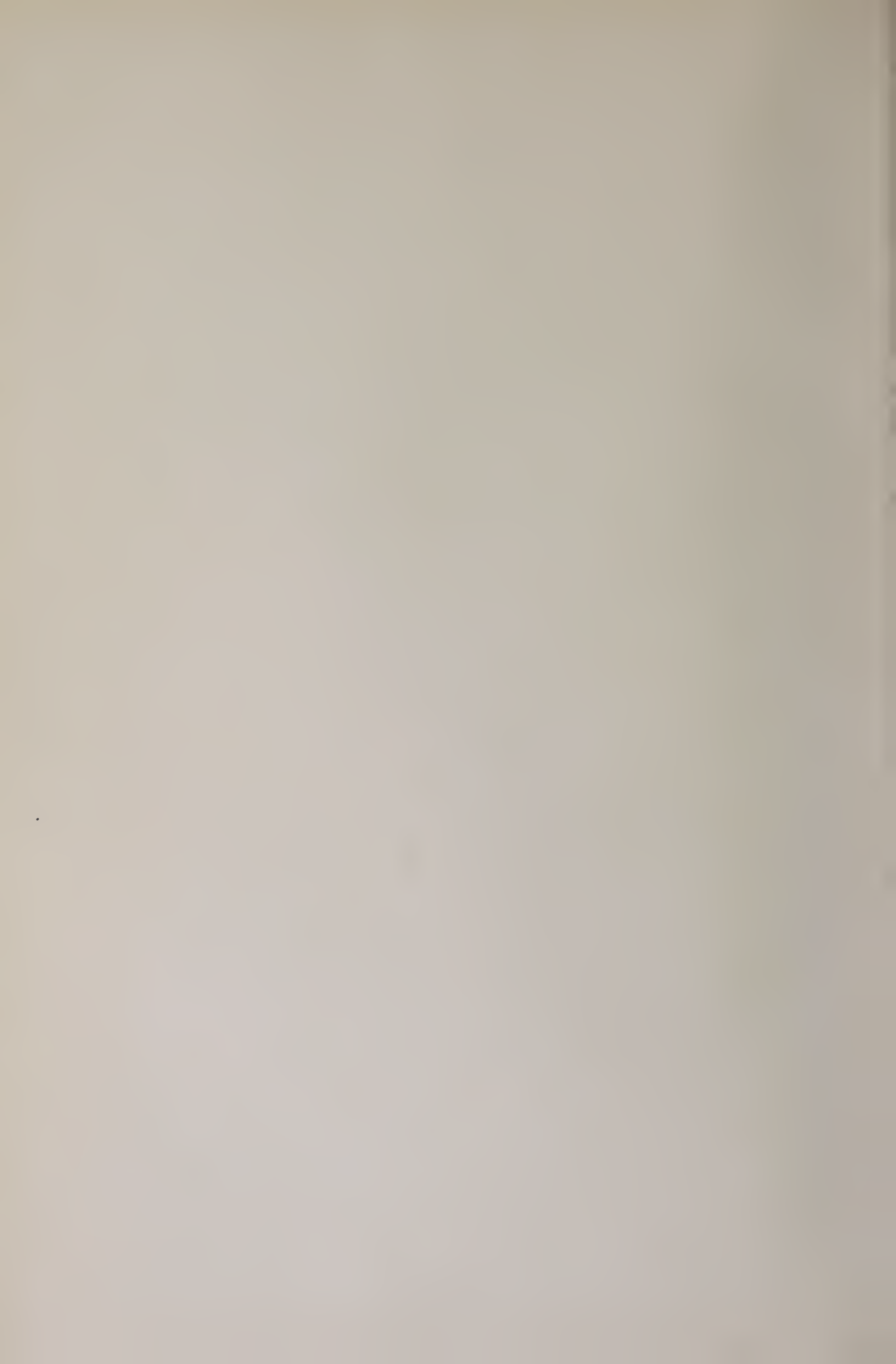
Überwölbung des Mittelschiffes verschiedene Versuche

Als Erstlingsgestalt trat für die Überwölbung des Mittelschiffes fast allgemein das Tonnengewölbe auf, es findet sich von Spanien und Italien hinauf bis Skandinavien (Kirche zu Ringsaker), zur allgemeinsten Herrschaft gelangt es — abgesehen von den kleinen Steinkapellen Irlands — im südöstlichen Frankreich. Aber auch in Deutschland kommt es vor, so ist es im Chor der später um-

Tafel II.



Die Gewölbe der Byzantiner.
11.
Kuppel auf Zwickeln.
11 a.
12.
12 e.
Stutzkuppel.
a
b
c
d
12. a-e. Schichtenlage bei der Stutzkuppel
n
m
Kreuzgewölbe.
g
h
13 a
x
p
x
13.
12. f-k. Schichtenlage beim Tonnengewölbe.
m
i
k
x
p
x



gebauten Johanniskirche zu Verden noch erhalten und im Mittelschiff nachweisbar. Seine Einführung war naheliegend, da es durch die Römerwerke bekannt war und sich am natürlichsten dem rechteckigen Raume einfügte; es trug aber seine unbesiegbaren Mängel von vornherein in sich. Die Unmöglichkeit, es bei dreischiffiger Anlage befriedigend zu beleuchten, seine höhlenartige Erscheinung und die Schwierigkeit der Absteifung liessen es trotz aller Versuche nicht zu einer zweckerfüllenden Ausbildung gelangen.

a. Das langlaufende Tonnengewölbe.

Den Schub pflegte man zwar sehr geschickt durch hoch hinaufgeführte Halbtonnengewölbe über den Seitenschiffen aufzunehmen, dadurch war aber die Schwierigkeit der Beleuchtung nur noch gesteigert.

Bevorzugte man andererseits eine gute, seitliche Lichteinführung durch hohes Hinausführen des Mittelschiffes — wie in Burgund, so machte sich der Schub wieder lästig bemerkbar. Selbst wenn man diesen durch Einführung der spitzbogigen Tonnenform und durch Strebepfeiler erfolgreich bekämpfte, blieb immer die beklemmende, tunnelartige Wirkung des Innern zurück. Schliesslich suchte man sogar diese letztere zu mildern durch Einschaltung von teilenden und gleichzeitig verstärkenden Quergurten, — eine vollkommene Lösung bildete das Tonnengewölbe aber nie.

Der Versuch, die Tonne durch hoch hinaufgeschobene Stichkappen zu erhellen, welcher später von der Renaissance noch einmal aufgenommen, aber trotz allen ornamentalen Reichtumes nie befriedigend ausgefallen ist, wurde im Mittelalter aufgegeben.

Man verfolgte verschiedentlich andere Lösungen. Unter diesen tritt besonders hervor die im südwestlichen Frankreich geübte Aneinanderreihung von voll ausgebildeten Kuppeln auf Zwickeln. Die Übertragung der Kuppel nach dort erklärt man aus den lebhaften Handelsbeziehungen jener Gegenden, besonders der Städte Limoges und Perigueux mit dem derzeit „byzantinischen“ Venedig. Neuerdings wird der Einfluss Venedigs von mancher Seite angezweifelt.* Die Kirche St. Front zu Perigueux mit ihren fünf mächtigen, in Kreuzform angeordneten, von schweren spitzbogigen Gurten getragenen Kuppeln nimmt den Ehrenplatz unter diesen Bauten ein. (Die Kuppeln zu St. Front zeichnen sich durch saubere Ausführung in „Werkstein“ und durch horizontale Schichtenlage in den Zwickeln aus.) Das Prinzip des wirklichen Aneinanderreihens tritt noch viel deutlicher hervor bei der Abteikirche zu Fontévrault, sowie bei vielen anderen meist einschiffigen Anlagen zu Angoulême, Cognac, Limoges usf.

b. Kuppel auf Zwickeln.

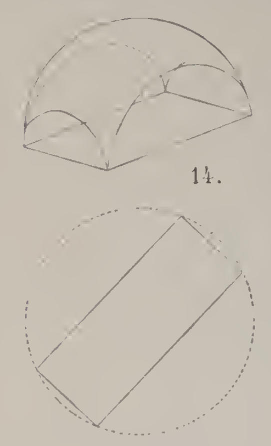
Die Übertragung der stets einen Mittelpunkt bedeutenden Kuppel auf Langkirchen unter fortschreitender Wiederholung war trotz der sonstigen Schönheiten erzwungen, sagte daher auf die Dauer ebensowenig zu wie das Tonnengewölbe.

Weit lebensfähiger zeigte sich der Kuppelausschnitt oder die Stutzkuppel (Fig. 14). Sie ist an vielen Stellen zur Ausführung gekommen, in Deutschland unter anderen zu Paderborn, in Frankreich vorzugsweise in Anjou, Maine, Tourraine. Oft findet sie sich über der Vierung, vielfach aber auch über Reihen von Wölbfeldern. Es fügt sich die Stutzkuppel den vier umschliessenden Seiten

c. Stutzkuppel oder Kuppelausschnitt.

* Vgl. Dehio und v. Bezold, die kirchl. Bauk. d. Abendlandes S. 339.

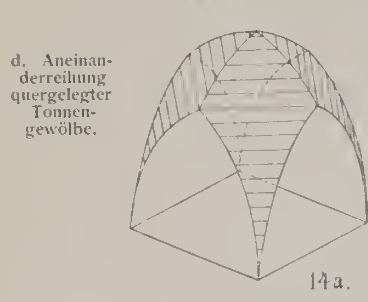
so einfach und organisch ein, dass sie als durchaus vorteilhafte Lösung gelten muss, besonders wenn man ins Auge fasst, dass sie sich einem rechteckigen Felde ebenso bequem einpasst wie einem quadratischen. Da überdies wegen der Kugelform die Herstellung ohne Lehrgerüst möglich ist, darf es nicht Wunder nehmen, dass sich dieselbe an einigen Stellen noch lange erhielt, als bereits das Kreuzgewölbe zur allgemeinen Herrschaft gelangte. Es werden mehrfach sogar die Rippen vom Kreuzgewölbe aufgenommen, ohne dass die Kugelfläche verlassen wurde, es bilden dann die Rippen mehr eine Zierde oder höchstens eine Versteifung, nicht aber die eigentlich tragenden Teile.



14.

Der Stutzkuppel verwandt ist eine ab und zu, beispielsweise in den Klosterräumen des Rigaer Domes, anzutreffende Wölbform (Fig. 14a), welche als übereckgestellte Walmkuppel oder Klostergewölbe bezeichnet werden könnte. Dass vereinzelt noch manche andere Wölbformen auftreten, besonders über der Vierung sei nur nebenher erwähnt.

d. Aneinanderreihung quergelegter Tonnengewölbe.



14a.

Bevor wir zu der letzten, endgiltigen Lösung übergehen, ist noch ein wenig verbreiteter Versuch anzuführen, der in der Kirche St. Saturnin zu Toulouse zum Ausdruck kommt. Es ist das eine Folge quergelegter Tonnengewölbe, wie sie beim Seitenschiff häufiger anzutreffen ist. Ihre Übertragung auf das Mittelschiff trägt zwar dem Wunsche, mehr Licht zu schaffen, durchaus Rechnung, die perspektivische Wirkung des Innern war aber so abstossend, dass kein Gelüst zu häufiger Wiederholung sich zeigte.

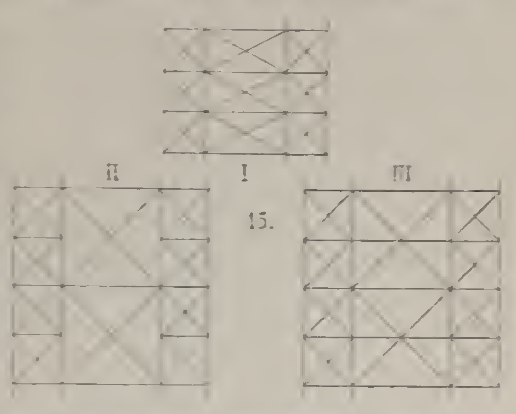
Das Kreuzgewölbe über dem Mittelschiff.

Die einzige nun noch verbleibende Lösung war das Kreuzgewölbe. Fast erscheint es befremdlich, dass diese sonst so oft verwendete Form für das Mittelschiff so lange gemieden wurde; doch das hatte seine gewichtigen Gründe.

Das überhöhte byzantinische Kreuzgewölbe war im Westen anfangs wenig bekannt, ein nach römischer Art hergestelltes Kreuzgewölbe erforderte in dieser Höhe und Spannung aber eine Widerlagsmasse, welche die Mittelmauern der Basilika nicht hergeben konnten, zumal sie bei ihrer gleichmässig fortlaufenden Form nicht geeignet waren, einen Druck auf Einzelpunkte vorteilhaft aufzunehmen. Wollte man das Widerlager durchaus in bedeutender Erbreiterung der Mauer oder der Pfeiler schaffen, so ging der mühsam erstrebte räumliche Zusammenhang der drei Schiffe wieder verloren. Es mochte wohl mancher unheilvolle Versuch gemacht sein, bis man Schritt für Schritt dazu gelangte, den Wölbschub geringer und die Widerlager ohne Massenanhäufung widerstandsfähiger zu machen. Völlig erreicht war das Ziel erst, als das gotische Gewölbe und das gotische Strebesystem fertig vorlagen.

Neben diesen Hindernissen in der Herstellung stellten sich der Einführung des Kreuzgewölbes Schwierigkeiten in der Grundrissteilung entgegen. Das Mittelschiff ist breiter als die Seitenschiffe, daher ergeben sich, wie Fig. 15 I zeigt, bei

durchlaufender Jochteilung stets langgestreckte Felder, sei es in der Mitte oder an der Seite. Das römische Kreuzgewölbe war aber nicht geeignet, ein derartiges Feld zn überdecken, auch die Umgestaltungen des Kreuzgewölbes in romanischer Zeit verursachten Schwierigkeiten, wenn die Seitenlängen zu sehr verschieden waren. Man suchte daher möglichst quadratische Felder für alle drei Schiffe zu erlangen und kam zu der Anordnung II, bei welcher je zwei Jochen im Seitenschiffe ein grösseres im Mittelschiffe entspricht. Diese Grundrissbildung wurde typisch für eine Reihe von gewölbten Basiliken in Deutschland. Es wechselten stark belastete Hauptpfeiler mit schwächer belasteten Zwischenpfeilern. Letztere suchte man vorzugsweise in Nordfrankreich um die Mitte des XII. Jahrhunderts mit ins Hauptgewölbe hineinzuziehen durch Verwendung des sechsteiligen Gewölbes. Es entstand dadurch die Anordnung III, welche aber im Laufe des XIII. Jahrhunderts wieder aufgegeben wurde. In Deutschland ist das sechsteilige Gewölbe besonders am Rhein, dann zu Bremen, Maulbronn, Walkenried, Limburg a. d. Lahn ausgeführt, im allgemeinen aber weniger aufgenommen; hier ging man, sobald die Fortentwicklung des Kreuzgewölbes eine Überdeckung rechteckiger Felder gestattete, wieder allgemein zu der natürlichen Lösung I über, die alsbald zur allgemeinen Regel für den gotischen Kirchengrundriss wurde.



15.

Umgestaltung des Kreuzgewölbes bei rechteckigem Grundrisse.

Versuche mit der nun einmal günstigen rechteckigen Jochteilung des Mittelschiffes haben uberhaupt nie geruht. Da man überdies bei der Überdeckung der Seitenschiffe und nicht minder bei der Anlage klosterlicher und profaner Bauten immer wieder auf rechteckige Raumgrundrisse stiess, konnte man eine Umbildung des römischen nur auf quadratische Felder berechneten Kreuzgewölbes auf die Dauer nicht von der Hand weisen. Man klammerte sich zwar möglichst lange an die römischen Überlieferungen an, musste dieselben aber notgedrungen immer mehr verlassen.

Nachfolgend mögen alle wesentlichen Lösungen nebeneinander gestellt werden, welche überhaupt die alte Bauweise für die Überwölbung eines Mittelschiffes mit nicht quadratischer Querteilung hergab. Sie sind fast ausnahmslos zur Anwendung gelangt. Da zu romanischer Zeit die Kreuzgewölbe auf vollem Lehrgerüst hergestellt wurden, ist es für das leichtere Verständnis zweckdienlich, nicht das Gewölbe selbst, sondern die Form seiner Unterschalung ins Auge zu fassen.

Wenn nicht streng erweislich, so ist es doch wahrscheinlich, dass die Römer bei einer Reihung von Kreuzgewölben zuerst eine durchlaufende Bretterschalung unter der Längstonne herstellten (Fig. 16) und dann erst oben auf diese die Scha-

lung für die einzelnen Quertonnen legten, genau so wie noch heutzutage beim Einwölben kleiner Stichkappen in Kellergewölben verfahren wird.

Dass diese Technik in der ersten romanischen Zeit noch geübt wurde, beweist SCHÄFER (Centralblatt der Bauverwaltung, 1885) sehr treffend mit der Beobachtung, dass an solchen Gewölbereihen oft an einer Seite eine Quertonne fehlt, und dass häufig die Scheitel zweier gegenüberliegender Stichtonnen nicht genau gegeneinander treffen.

Längstonne mit seitlichen Stichkappen.

Es sei nun angenommen, dass das Mittelschiff einer Basilika mit rechteckiger Grundrisseinteilung einzuwölben ist. Die mittleren Längswände seien bereits hochgeführt und an ihnen die halbkreisförmigen Schildbogen angelegt. Es ist nun das Lehrgerüst für die Haupttonne aufzustellen, welches die Form eines halben Kreiscylinders erhält. Auf die durchlaufenden Schalbretter dieser Halbtonne werden diejenigen der Quertonnen aufgesattelt, indem sie vom Schildbogen aus wagerecht hinübergelegt werden. (Siehe Grundriss und Querschnitt I in Fig. 17.) Es können sich dabei nur niedrige Stichkappen bilden, aber keine Kreuzgewölbe.

Es war zu natürlich, dass man versuchte, die Stichkappen höher hinaufzutreiben durch eine ansteigende Lage der Bretter. Der höchste Punkt des Schnittes schob sich dadurch weiter in die Höhe, er konnte aber nie bis zur Wölbmitte gelangen, sondern höchstens bis zum Berührungspunkte n der Tangente gh (vgl. Grundriss und Schnitt II in Fig. 17). Ein Kreuzgewölbe entstand also auch auf diese Art nicht. Demnach konnte bei rundbogiger Tonne und halbkreisförmigen Schildbogen nach römischer Weise wohl ein Gewölbe mit Stichkappen, niemals aber ein Kreuzgewölbe erzielt werden. Es mussten Änderungen vorgenommen werden, die sich auf die Haupttonne oder die Querkappen erstrecken konnten.

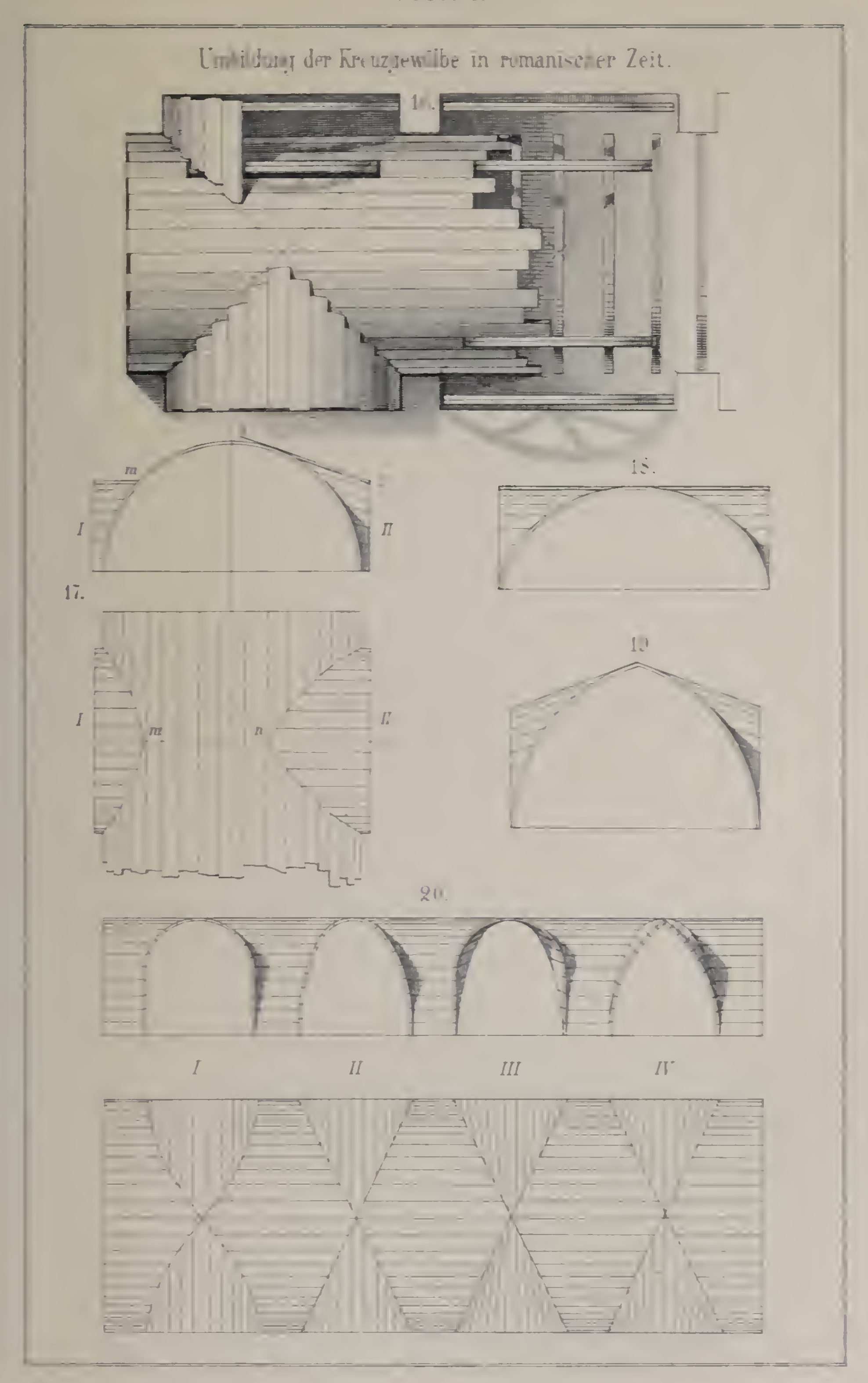
Das halbcylindrische Längsgewölbe in eine niedere, elliptische Wölbung zu verwandeln, wie es beim Seitenschiffe zum Ausgleich der Scheitelhöhen wohl geschah (Fig. 18), konnte für das Mittelschiff nicht ernstlich in Frage kommen; man würde dadurch den Schub vergrössert haben, dessen Bekämpfung hier gerade eine Hauptfrage war. Weit beachtenswerter ist die Form des spitzbogigen Tonnengewölbes, das sich am Ende des XI. und im XII. Jahrhundert wegen seiner konstruktiv günstigen Eigenschaften in manchen Gebieten Eingang verschaffte. Dieses, mit steigenden Stichkappen vereinigt, lässt über einem Rechteck einen kreuzförmigen Gewölbeschnitt zu. (Fig. 19.) Es ist möglich, dass die spitze Tonne ein beachtenswertes Glied im Entwicklungsgange des gotischen Gewölbes wurde, bevor es aber den Anlass zu wichtigen Neubildungen geben konnte, waren an anderer Stelle, besonders in Deutschland, die Versuche mit Halbkreisformen fortgesetzt, zu denen daher zurückzukehren ist.

Blieb die Haupttonne halbrund, so mussten die Querkappen geändert werden, entweder durch Einführung einer neuen Schildbogenform oder durch gänzliche Umbildung der Krümmung der bisher cylindrischen Kappenflächen.

Erhöhung der Schildbogenscheitel bis zur Höhe der Gewölbemitte.

Der halbkreisförmige Schildbogen liess sich am einfachsten dadurch ändern, dass man ihn aufhöhte, bis sein Scheitel gleiche Höhe mit der Tonne bekam (Fig. 20 I). Legte man von diesen Schildbogen die Schalbretter senkrecht hinüber

Tafel III.


Umbildung der Kreuzgewölbe in romanischer Zeit.
16.
m
I
II
17.
I
m
n
II
18.
19
20.
I
II
III
IV



gegen die Tonnenfläche, so bildeten diese einen Halbcylinder, der sich kreuzförmig in den grossen Halbcylinder hineinschnitt. Muss die so gewonnene Form auch als Kreuzgewölbe bezeichnet werden, so entsprach sie doch nicht der Vorstellung, die man sich von ihr gemacht hatte, denn die Gratlinien lagen nicht über den Diagonalen, sie bildeten vielmehr im Grundriss geschwungene Linien (vgl. den Grundriss), die für das Auge wenig ansprechend waren und besonders bei einer Bemalung unerwünscht hervortreten mussten.

Bei diesem Gewölbe konnte man sich nicht beruhigen, man musste gesetzmässige Kreuzlinien anstreben. Um diese zu erzielen, durfte man sie aber nicht mehr als zufälliges Ergebnis aus dem Zusammenschnitt der Flächen entgegennehmen, sondern man musste von ihnen ausgehen, sie zuerst festlegen und danach erst die Form der Kappen bestimmen. Das bedeutet aber einen wichtigen Umschwung in der Wölbtechnik, an Stelle der „Fläche“ übernahm den Vorrang die „Linie“. Wollte man die Gratlinien von vornherein festlegen, dann war es nur eine Frage der Zeit, wann man dazu überging, unter ihnen diagonal gerichtete Lehrbogen aufzustellen und die alte Art der Einschalung zu verlassen. Man begnügte sich anfangs vielleicht damit, die Diagonalgrate oben auf der Bretterschalung der Haupttonne aufzureissen (vielleicht durch Herabloten von einer kreuzweis ausgespannten Leine). Nehmen wir einstweilen dieses an.

Wenn man von der so aufgerissenen Kreuzlinie Schalbretter senkrecht gegen die Stirnfläche legt, so ergeben sich hier Schildbogen von der Form einer aufrecht stehenden halben Ellipse (Fig. 20 II). Die Anwendung solcher elliptischer Bogenlinien ist insofern zu beachten, als sie bereits ein Loslösen von der Halbkreisform anbahnt und damit der Einführung anderer Bogenformen, besonders des Spitzbogens, die Wege ebnet.

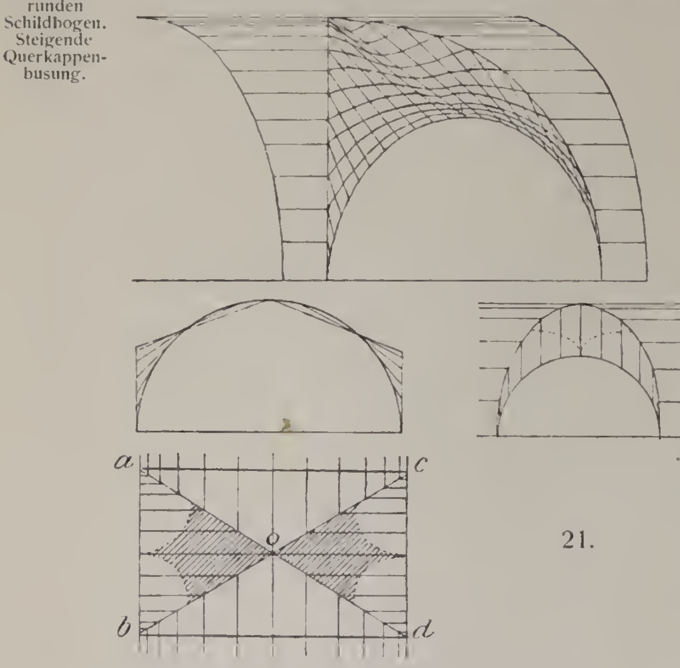
Elliptische Bogenformen, die übrigens selten mathematisch genau ausgetragen sind, trifft man bei einiger Aufmerksamkeit an romanischen Werken sehr oft, meist sind liegende Ellipsen verwendet, daneben aber vielfach auch stehende; im Seitenschiff von St. Marien zu Dortmund treten beide gleichzeitig auf, und in einem Seitenschiff der Gaukirche zu Paderborn zeigt die Längstonne eine hochgestellte Ellipse als Querschnitt. (Die Gratkanten an letzterem sind im Grundriss ziemlich unregelmässig gebogen.)

Wollte man statt des unbequemen elliptischen Schildbogens den überhöhten Halbkreis beibehalten (der vielleicht schon in den vorher aufgemauerten Wänden angelegt war), so konnte man auch von diesen die Schalbretter nach den aufgerissenen Diagonalgraten legen. (Fig. 20 III.) Es standen dann aber die Schalbretter nicht mehr senkrecht gegen die Stirnbogen, und die Fläche der Kappe blieb kein regelmässiger Cylinder mehr. Man hatte sich also von der Cylinderfläche frei gemacht, war dies aber einmal geschehen, dann stand nichts mehr im Wege, dem Schildbogen jede beliebige andere Form, z. B. diejenige des aus anderen Gründen weit vorteilhafteren Spitzbogens zu geben (Fig. 20 IV).

Man sieht, dass man mittelst hochgezogener Schildbogen ein rechteckiges Kreuzgewölbe mit regelmässigem Diagonalschnitt erzielen konnte. Dabei wurde man zum Aufgeben des Halbkreisbogens geführt oder auf ein Verlassen der cylindrischen Kappenfläche hingeleitet.

Rechteckiges Kreuzgewölbe mit niedrigen, runden Schildbogen. Steigende Querkappenbusung.

Vollkommen musste man die alte Form der Kappen aufgeben, wenn man keine hohen Schildbogen verwenden wollte, sondern beim ursprünglichen, in romanischer Zeit hauptsächlich in Deutschland immer noch bevorzugten Falle verblieb, für die Schildbogen einfache, wenig oder garnicht überhöhte Halbkreise zu verwenden. Angenommen, es wären die Schildbogen eines herzustellenden Gewölbes bereits aufgemauert und die grosse Tonne als Halbcylinder eingeschalt, überdies seien die Gratlinien auf der Bretterschalung aufgerissen, da man unbedingt regelmässige Zusammenschnitte der Kappen zu haben wünschte (Fig. 21), so würden alsdann die Schalbretter für die Stichkappen aufzubringen sein. Dass man auf die gewöhnliche Art nicht zum Ziele gelangt, ist bereits bei den Fig. 17 I und II gezeigt. Die Bretter stossen gegen die Längstonne, ohne zum Scheitel zu gelangen. Will man trotzdem eine Verbindung von Schildbogen und Kreuzgraten durch die Schalbretter erzwingen, so wird sich ein Teil derselben durch die Fläche der Tonne hindurchschieben müssen, wie es die schraffierte Fläche des Grundrisses Fig. 21 andeutet. Die Schalbretter der Haupttonne können somit nicht mehr überall durchlaufen, und was wichtiger ist, die Schalung der Querkappen bildet eine Fläche, welche unter dem schraffierten Teil muldenartig herabzuhängen scheint; diese Form ist aber hässlich und konstruktiv bedenklich (vgl. die verschiedenen Ansichten in Abb. 21). Die Mulde muss ausgefüllt werden, sei es durch einen Erdauftrag oder eine aufgesattelte Schalung oder beides vereint. (Schon eine andere Richtung der Schalbretter hilft die Mulde ausgleichen.) Wenn dieser Auftrag hügelartig hinaufgeführt wird, so bildet sich eine kuppelartig gebauchte oder **busige Kappenfläche**. Ihre Herstellung macht über einer Schalung Schwierigkeit, ist durch freihändiges Wölben aber leicht zu erwirken. Hatte man die Busung einmal für die beiden steigenden Querkappen *a b o* und *c d o* angewandt, so war es natürlich, dass man sie der Gleichartigkeit wegen auch auf die beiden anderen *a c o* und *b d o* übertrug.



21.

Unabhängigkeit der Kreuzgrate. Übergang von der Ellipse zum Halbkreise.

Es war bei dem letzten Gewölbe zunächst vorausgesetzt, dass in der Längsrichtung des Mittelschiffes noch gerade cylindrische Kappen eingeschalt waren; es ist das jetzt aber zwecklos geworden. Denn für diese Gewölbe wurden bereits stets unter den Graten stützende Lehrbogen aufgestellt. Die Schalbretter legten sich von den letzteren nach den nun immer vorhandenen Gurtbogen hinüber, sie liefen

also nicht mehr durch. Damit hörte aber auch der Zwang auf, ihnen die Form eines fortlaufenden Cylinders zu geben, sie konnten ebensogut eine freiere Form annehmen, wie die ansteigenden Quertonnen sie hatten. Mit anderen Worten Gurt- und Gratbogen konnten in der Längsrichtung ebenso unabhängig von einander sein, wie es Schildbogen und Grat in der Querrichtung bereits waren, d. h. man konnte den Gratbogen jetzt gestalten wie man wollte. Das war aber wieder ein wichtiger Fortschritt. Die flache, elliptische Form des Grates bildete beim römischen Kreuzgewölbe einen Mangel, den schon die Byzantiner empfunden hatten, der sich aber beim Mittelschiff der romanischen Basilika geradezu als Hemmnis erweisen musste. Man wird daher keine Abweichung vom alten Gewölbe so bereitwillig vorgenommen haben, wie gerade das Lossagen von der stark schiebenden und auch an sich statisch unvorteilhaft gestalteten Ellipse, die man gewöhnlich durch einen Halbkreis ersetzte.

Bei einem langgezogenen rechteckigen Felde war der Übergang zum Halbkreis für den Diagonalbogen kein gar zu grosser Schritt, da hier die Ellipse dem Halbkreis schon sehr nahe steht. Sehr fördernd dürfte es auch eingewirkt haben, dass man sich dem Augenscheine nach sehr schlecht auf das Austragen elliptischer Lehrbogen verstand und schon aus diesem Grunde abweichende Formen zu Tage förderte. Oft mochte man an Stelle der Ellipse selbst zu einem unten abgestutzten Halbkreis gegriffen haben, den die Byzantiner zu ihren überhöhten Kreuzgewölben durchweg verwandten.

Das romanische Kreuzgewölbe mit Überhöhung und Busung.

Damit ist das busige, in beiden Richtungen überhöhte Kreuzgewölbe (Fig. 22) geschaffen, das als das Endergebnis der romanischen Wölbbildung anzusehen ist. Dasselbe zeigt sowohl für die Schildbogen, wie für die Kreuzbogen einen Halbkreis; es hat für das quadratische Feld die gleichen konstruktiven Vorzüge wie für das rechteckige und wird daher für beide verwandt. Bei seiner Ausbildung wirken zwei Faktoren beständig zusammen, als erster die Schwierigkeit, ein Rechteck zu überdecken, als zweiter die Notwendigkeit, den Schub zu mildern, letzteres war ein wichtiges Ziel, zu dem ersteres die Wege finden half. Inwieweit das Vorbild der weit älteren aber wesentlich abweichenden überhöhten Gewölbe der Byzantiner fördernd mitgewirkt haben mag, möge eine offene Frage bleiben.

Die Entstehung des überhöhten busigen Gewölbes wird vielfach ohne Rücksicht auf das Rechteck direkt aus dem quadratischen Felde abgeleitet, dabei wird die Verringerung des Schubes als alleinige Triebfeder angesehen zu einem Übergange von dem elliptischen Grate zum rundbogigen. Der Weg ist richtig, aber zu unvermittelt, er enthält eine Kluft, die erst überbrückt wird, sobald man das notgedrungene Vorgehen bei Überwölbung eines Rechteckes mit in Betracht zieht, wie solches im vorstehenden versucht ist. Damit soll aber nicht gesagt sein, dass der gezeichnete Gang sich überall in gleicher Weise vollzogen habe, man muss neben dem zeitlichen „Nacheinander“ ein örtliches „Nebeneinander“ voraussetzen und eine beständige Wechselwirkung der Fortschritte aufeinander in Rücksicht ziehen. Bis die für die Konstruktions- und Kunstgeschichte gleich wichtige Frage der mittelalterlichen Gewölbeentwicklung völlig geklärt sein wird, dürfte es noch sehr eingehender Studien bedürfen. Leider sind die bisherigen Aufnahmen von Bauwerken, wie Vergleiche mit der Wirklichkeit zeigen, gerade bezüglich der Gewölbe selten ganz verlässlich. Um letztere richtig zu erforschen, sind genaue Sonderaufnahmen nötig, zu denen die Mitwirkung vieler Fachleute erwünscht wäre. Nie sollte man die dazu besonders günstigen Restaurationsbauten vorübergehen lassen, ohne bei wichtigen Werken die Form der Gewölbebogen, ihre Halbmesser und Mittelpunkte, ebenso die Gestalt der Kappen und alle Einzelkonstruktionen vom Wider-

lager bis zum Gewölbeschluss genau aufzumessen und, soweit sie von Wert sind, der Öffentlichkeit zu übergeben.

Kappengestalt der überhöhten Gewölbe. Grat oder Kehle an den Kreuzlinien.

Dem in Fig. 22 dargestellten überhöhten busigen Gewölbe, das ganz besonders für die späteren romanischen Werke Deutschlands typisch wurde, sind stets Gurtbogen zugefügt zu denken. Sowohl seine beiden Gratbogen, als die vier umschliessenden Stirnbogen sind Halbkreise, sie lassen sich demnach von einer gemeinsamen Kugelfläche umschliessen. Zwischen diesen sechs Bogen spannen sich die vier Kappen aus, für deren Gestalt drei verschiedene Möglichkeiten vorliegen:

1. die Kappen sind so stark gebust, dass sie ausserhalb der Kugelfläche liegen, es entsteht ein richtiges Kreuzgewölbe mit nach unten vorspringenden Gratkanten. Im Schnitte *x x* der in Fig. 23a dargestellten Diagonalansicht ergiebt sich die in Fig. 23c grösser gezeichnete Kappenbiegung *I*; im Punkte *n* zeigt sich die Schärfe der Gratkante,

2. die Kappen liegen genau in der Kugelfläche, es entsteht dann überhaupt kein Kreuzgewölbe, sondern eine Stutzkuppel. Die Diagonalbogen treten gar nicht aus der Fläche hervor, siehe Schnitt *II* in Fig. 23c,

3. die Kappen liegen innerhalb der Kugelfläche. Es bildet sich in diesem Falle streng genommen kein Kreuzgewölbe sondern eine Art von Klostergewölbe, die Diagonalkanten erscheinen von unten gesehen nicht als vortretende Gratkanten, sondern als einspringende Kehlen. Siehe Schnitt *III*.

Gewölbe der letzteren Art sind zur Zeit des romanischen und des Übergangsstiles gar nicht selten, besonders oft findet man solche, bei denen die Kreuzbogen im unteren Teile als Grate und im oberen Teile als Kehlen erscheinen, z. B. in der grossen Marienkirche zu Lippstadt und an den interessanten stark überhöhten Gewölben der Gaukirche zu Paderborn. (Fig. 26.) Bei beiden Beispielen sind noch keine vortretenden Rippen vorhanden. Letztere sind sehr geeignet, kehlenförmige Zusammenschnitte der Kappenflächen dem Auge unbemerkbar zu machen, weshalb das selbst an gotischen Gewölben auftretende Vorkommen von Kehlen meist unbeachtet bleibt.

Zur Verdeckung der Kehlen ist nicht selten im Putz eine kleine Gratkante hergestellt (vgl. nebenst. Skizze).

Wollte man bei halbkreisförmigen Grat- und Stirnbogen überhaupt ein Kreuzgewölbe mit vortretenden Gratkanten erzielen, so musste man notgedrungen zu einer starken Busung greifen. Letztere hatte also bei derartigen Wölbungen den zweifachen Zweck, die Gratlinien hervortreten zu lassen und die muldenartige Einsenkung am Kappenscheitel zu vermeiden. Die Busung war aber immer eine lästige Zugabe, sobald man die Kappen auf vollem Lehrgerüste herstellen wollte.

Wenn die Form der Busung, wie man für Bruchsteinkappen meist annimmt, durch einen Erdauftrag auf den Schalbrettern vorgerichtet wäre, so hätte eine beträchtliche Erdmenge hinaufgeschafft werden müssen. Sie wäre besonders gross, wenn man die Bretter so legte, wie es in dem Dreiecke *d o g* der Fig. 23b gezeichnet ist. Der Auftrag liesse sich etwas verringern durch die im Dreiecke *g o e* angegebene Lage der Bretter, die gleichzeitig die Mulde am Scheitel besser ausglich. Immerhin blieb die Aufschüttung aber noch so bedeutend, dass sich für manches ausgeführte Gewölbe 100 Karren Erde und mehr berechnen lassen. Eine solche Menge lässt es fraglich erscheinen, dass die Erde das alleinige Hilfsmittel bildete; musste man aber eine Auffütterung aus Holz vornehmen, so war die Arbeit des Einrüstens um so gekünstelter. Wo ein geeignetes Ma-

terial vorlag, war auch in romanischer Zeit das freihändige Wölben bereits weiter im Gebrauche als man gewöhnlich glaubt. Ich möchte so weit gehen zu behaupten, dass busige Gewölbe der Regel nach freihändig aufgeführt sind.

Gotische Kreuzgewölbe mit freihändig ausgeführten busigen Kappen.

Immer blieb die Unterschalung eines Gewölbes eine grosse Schwierigkeit; man musste es daher als grosse Errungenschaft ansehen, als man allgemeiner lernte, die Kappen freihändig einzuwölben (siehe hinten Kappengemäuer). Die selbständige Herstellung der vortretenden Rippen auf Lehrbogen und die sodann erfolgende schichtenweise Einspannung leichter busiger Kappen ohne jedes Lehrgerüst ist als die vollendetste Konstruktionsweise der Gotik zu betrachten; sie stand höher als alles, was die Wölbkunst bis dahin geleistet hatte. —

Gotische Bruchsteingewölbe auf Schalung. Vermeiden der Busung. Spitze Stirn- und Kreuzbogen.

Die freihändig ausgeführten Kappen kamen aber trotz ihrer Vorzüge nur da zur Aufnahme, wo Ziegelstein ein leicht zu bearbeitender Kalkstein (Isle de France) und allenfalls noch Tuffstein das Wölbmaterial bildeten. Gewölbe aus ungefügen, schweren Bruchsteinen sind bis ins XV. Jahrhundert auf Schalung hergestellt. Für diese mied man die Busung wegen ihrer schwierigen Herstellung, das war aber nur durch Änderung der Wölbformen möglich. Die Busung war aus der starken Überhöhung erwachsen, letztere musste man beseitigen. Zu diesem Zwecke die Grate wieder abzuflachen, wäre ein Rückschritt gewesen, es wurden daher die Stirnbogen gehoben durch Überhöhung des Halbkreises, besser aber durch den günstigeren Spitzbogen. (Fig. 24.) Bleiben die Kreuzgrate Halbkreise, so muss der Bogenscheitel *c* bis zur Höhe der Mitte *o* reichen, damit keine Mulde bei geradem Scheitel *o c* entsteht.

Bei diesem Gewölbe ist zugleich die zweite Bedingung erfüllt, dass die Kreuzlinien trotz der fehlenden Busung zu Graten, nicht zu Kehlen werden. Um ein einfaches, annähernd richtiges Merkmal dafür zu haben, ob Grat oder Kehle zu erwarten ist, zeichnet man am besten die Diagonalansicht des Gewölbes. Bleiben in dieser wie bei Fig. 24 die Projektionen der Bogenhälften *b c* und *a d* ausserhalb des Kreuzbogens *a o b*, so entstehen vorspringende Grate; liegen sie umgekehrt innerhalb des Diagonalbogens wie bei Fig. 23a, so kann man auf Kehlen rechnen.

In der Fig. 24 waren die Kreuzgrate als Halbkreise gezeichnet. Gerade für diese kann aber der Spitzbogen grosse Vorzüge haben. Nur bei spitzbogigen Gratlinien ist es überhaupt möglich, ein „überhöhtes“ Kreuzgewölbe ohne busigen Scheitel herzustellen (Fig. 25 rechts).

In der Figur 25 zeigt die linke Hälfte einen rundbogigen Grat, es ist eine Busung für den steigenden Scheitel hier nicht zu vermeiden. Rechts ist ein spitzer Diagonalbogen verwandt, der einen geraden steigenden Scheitel *o g* zulässt. Das mögliche Mass der Steigung bekommt man, wenn man an die Projektion des Spitzbogens *o d* in *o* eine Tangente legt.

Die Bedeutung des Spitzbogens für die Kreuzlinien wird oft unterschätzt. Selbst an hervorragender Stelle (Viollet-le-duc und auch in den früheren Auflagen dieses Werkes) wird als die gängige Form der Grate der Halbkreis angesehen. Die Beobachtung zeigt aber, dass zahllose, vielleicht gar die meisten Gewölbe der frühen wie der späteren Gotik spitze Grate haben. Hier ist ein wichtiger Hebel für die Einführung des Spitzbogens zu suchen! Schon die romanischen Gewölbe zu Lippoldsberg a. d. W. haben spitze Grate bei geradesteigenden Sandsteinkappen. Die Gewölbe der Gaukirche zu Paderborn (Ende XII. J.) zeigen bei rundbogigen Stirnen hohe, dem Spitzbogen sehr nahe stehende Kreuzbogen. Die Scheitel der Kappen haben eine steile, bis auf eine Verdrückung in der Mitte, geradlinige Steigung. Skizze 26 stellt das Gewölbe dar.

Gleich in Paderborn findet man noch weitere Gewölbe mit spitzen Graten und geradesteigenden Scheiteln, so im Kreuzgang und im Turm des Domes. Letzteres auch wegen seiner

Widerlagsanordnung interessante Gewölbe befindet sich weit oben im Turm, und ist — jedenfalls zur Verkleinerung des Schubes — so stark überhöht, dass der Winkel am Scheitel nur etwa 110° betragen mag. (Fig. 27.)

Es zeigt sich beim Verfolg der Gewölbeentwicklung des XII. und XIII. Jahrhunderts, wie immer wieder und wieder Erwägungen auftraten, welche auf die Einführung des Spitzbogens gebietend hinwiesen. Im vorstehenden sind nur die wichtigsten der Gründe aufgeführt, die sich aus der Formengestaltung herleiten; zu diesen gesellen sich die noch wichtigeren der Festigkeit. Es sind besonders der geringere Schub des Spitzbogens auf die Widerlager und seine an sich günstige Form, die sich für die meisten in Frage kommenden Belastungsfälle (selbst ohne Scheitellast) erstaunlich nahe der theoretischen Stützlinie anschliesst, ganz erhebliche Vorzüge.

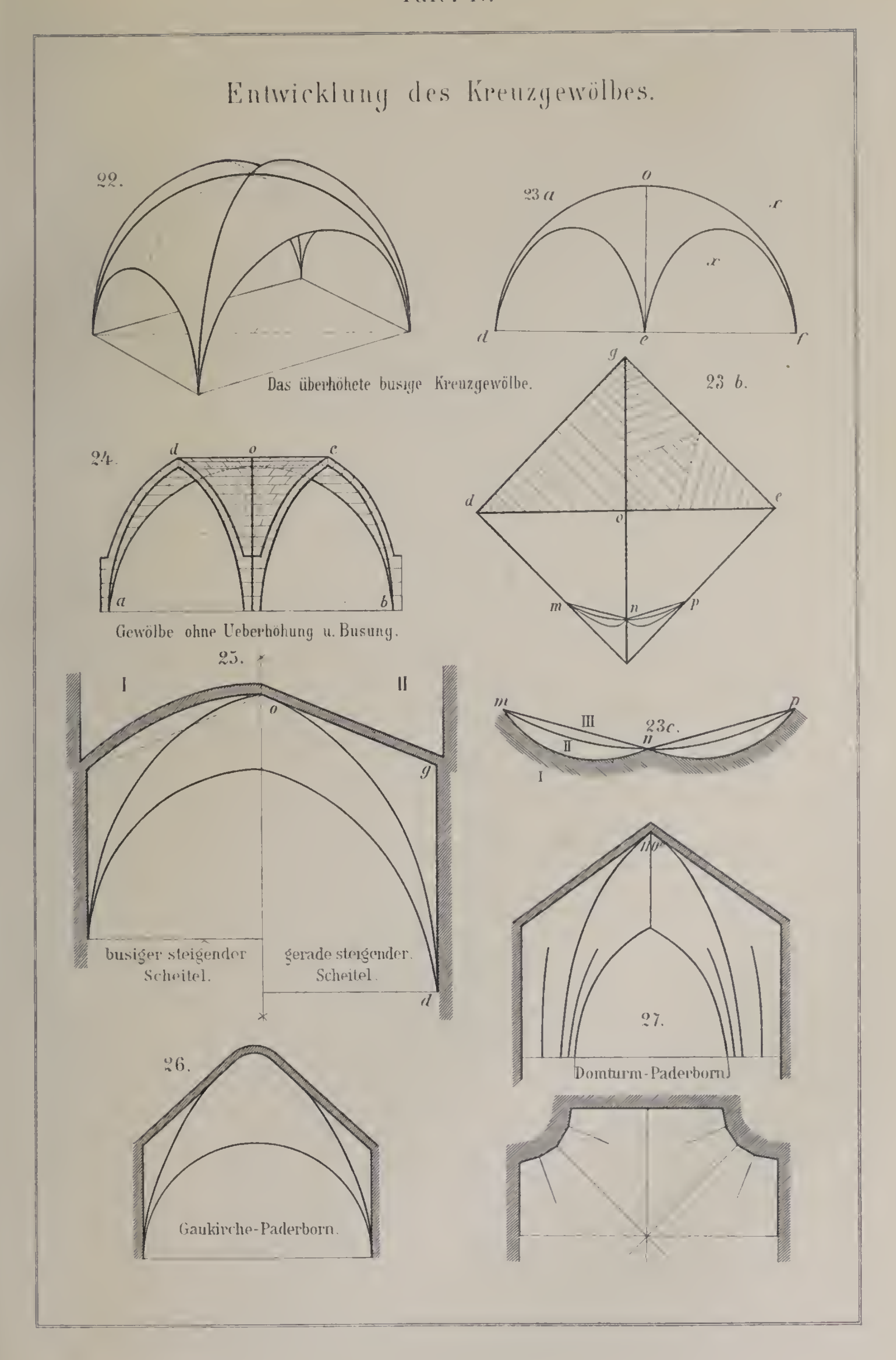
Die Aufnahme des Spitzbogens bildet einen der wichtigsten Schritte in der Konstruktionsgeschichte des Mittelalters. So irrig die Ansicht der Laien, welche Gotik und Spitzbogen für unzertrennlich hält, genannt werden muss, so kann nicht geleugnet werden, dass die Einführung dieser Bogenform diejenige Entwicklungsstufe der mittelalterlichen Kunst bezeichnet, welche ein völliges Loslösen von den alten Fesseln bekundet und das mittelalterliche Prinzip, jede Konstruktion von Fall zu Fall aus dem innern Wesen der Sache heraus zu entwickeln, zu voller Geltung bringt. Den alten Streit über die Herkunft des Spitzbogens aufzunehmen, dürfte hier kaum lohnen, da diese Frage ganz verschwindet gegen den Umstand, dass er „richtig verwandt“ ist.

Im vorstehenden ist die stufenweise Umgestaltung des Kreuzgewölbes von den Römern bis zur beginnenden Gotik in Kürze verfolgt, seine weitere Ausbildung in der gotischen Periode selbst wird in den späteren Abschnitten eine eingehendere Erörterung erfahren. Im dargethanen Entwicklungsgange hatte das Mittelschiff eine ausschlaggebende Rolle gespielt. Es handelte sich hier darum, Gewölbe in grosser Höhe mit seitlichem Lichteinlasse und geringem Schube aufzuführen, die sich überdies einer rechteckigen Felderteilung einpassen mussten. Es traten aber noch andere Stellen im Kirchengrundriss auf, bei denen es sich darum handelte, noch weit unregelmässigere Formen als das Rechteck, nämlich trapezförmige und vieleckige Grundrissgestalten zu bewältigen. Es empfiehlt sich, wenigstens noch an einem derartigen Beispiele die Unzulänglichkeit der römischen Überkommnisse klarzulegen.

Überwölbung der trapezförmigen Felder des Chorumganges.

Wie oben bereits erwähnt, bot das Mittelschiff die erste, der Chorumgang aber die zweite grössere Aufgabe bei Überwölbung der Basilika. Der Chorumgang ist aufzufassen als das verlängerte und umgeschwungene Seitenschiff, er verlangte daher dieselbe Überwölbung, die das Seitenschiff erhielt. Aus seiner gebogenen Form aber erwuchsen allerlei Schwierigkeiten.

War das Seitenschiff mit der Längstonne überdeckt, so war es leicht, dieselbe in Ringform um die Apsis herumzuführen, sobald aber Stichkappen hinzutraten, entstand schon der Übelstand, dass diejenigen am äusseren Umkreise grösser wurden als die inneren. Vergl. Fig. 28.


Entwicklung des Kreuzgewölbes.
22.
Das überhöhete busige Kreuzgewölbe.
23 a
o
x
x
d
e
f
g
23 b.
d
o
e
m
n
p
24.
d
o
c
a
b
Gewölbe ohne Ueberhöhung u. Busung.
25.
I
II
o
g
busiger steigender Scheitel.
gerade steigender. Scheitel.
d
m
p
III
23c.
n
II
I
110°
27.
Domturm-Paderborn
26.
Gaukirche-Paderborn.



Sollte aber gar das Kreuzgewölbe (oder auch die quergelegte Tonne) verwandt werden, so wurde die Verlegenheit noch weit grösser, denn es ergab sich ein trapezartiges Feld (Fig. 29), dessen äussere Seite *a b* länger ist als die innere *c d*. Wurden nun über diesen beiden Seiten Halbkreise errichtet und wurde durch letztere eine verbindende Fläche gelegt, so war dieselbe nicht mehr wie sonst ein Halbcylinder, sondern sie hatte die Form eines mit der Spitze nach der Chormitte weisenden halben Kegels. Der Zusammenschnitt dieser Kegelfläche mit der den Chor umziehenden ringförmigen Tonne bildet ein Kreuzgewölbe von abweichender Gestalt.

Für dieses Kreuzgewölbe giebt es, wenn die Versuche mit elliptischen und anderen vom Halbkreise abweichenden Bogenformen ausgeschlossen bleiben, drei Möglichkeiten:

1. die Mittelpunkte *r* und *p* des Schildbogens und des Arkadenbogens in Fig. 30 liegen gleich hoch — es steigt dann der Scheitel von *n* nach *m*. Der Kreuzpunkt *o* liegt nicht in der Mitte der Ringtonne,

2. der Scheitel *m n* ist horizontal — dann liegt der Mittelpunkt *p* des Arkadenbogens höher als derjenige des Schildbogens *r*, somit rücken auch die Kapitäle der Arkaden höher hinauf als diejenigen an der äusseren Wand (Fig. 31),

3. die Gewölbe sind so wie beim vorigen Falle, jedoch die Arkadenbogen sind überhöht, so dass die Arkadenkapitäle ebenso tief zu liegen kommen, wie die Wandkapitäle. (Fig. 32.)

Die letzte Anordnung befriedigt am meisten, aber sie hat den Mangel, dass die obere Kegelfläche sich gegen die senkrechte Seitenleibung in der schrägen Linie *o p* einschneidet. Dadurch erhält die Leibungsfläche ein hässliches Aussehen. Will man diesen Zusammenschnitt *o p* wagerecht haben, so muss der unterhalb *o p* liegende Mauerkörper statt des quadratischen Grundrisses x_1 (vergl. Fig. 33) einen trapezähnlichen x_2 erhalten. Dieses Auskunftsmittel ist in der That bei Kirchen des XII. Jahrhunderts ausgeführt, es führt aber zu einem ungünstigen trapezförmigen Kapitälgrundrisse abgesehen von weiteren Mängeln. Es erhellt aus dem Vorstehenden, dass die auf den alten römischen Überlieferungen beruhenden Wölbformen hier ebensowenig wie beim Mittelschiffe zu einem wohlthuenden, allgemein brauchbaren Ergebnisse führen. Auch wenn den Wölbungen sich vortretende Gurte sowie Schild- und Arkadenbogen zugesellen, können die Schwächen höchstens mehr versteckt, nicht aber gehoben werden. Als man zu dem in Fig. 22 und 23 dargestellten romanischen Gewölbe gelangt war, konnte man dieses auch über einem symmetrischen Trapeze verwenden (wie überhaupt über jedem dem Kreise einbeschriebenen Grundrisse). Siehe Fig. 34. Es sind sowohl die beiden Kreuzgrate wie die vier Stirnbogen Halbkreise. Die Form hat aber neben konstruktiven Mängeln — siehe hinten unter Aufrissgestaltung der Bogen des Kreuzgewölbes — den ästhetischen, dass der Kreuzpunkt der Grate seitwärts von der höchsten Stelle des Gewölbes liegt.

Freiheit der Gestaltung des gotischen Gewölbes in Grund- und Aufriss.

Eine allen Anforderungen gewachsene Lösung lag für Chorumgang und Mittelschiff erst dann vor, als die Gewölbeentwicklung in dem gotischen Kreuzgewölbe ihr höchstes Ziel gefunden hatte. Mit dem gotischen Gewölbe trat ein

Prinzip vollendet zu Tage, das, von Stufe zu Stufe unermüdlich errungen, nichts Geringeres in sich schloss als: „Die völlige Freiheit der Gestaltung“. Für diese Wölbart giebt es keine Einengung im Grundrisse und in der Aufrissentwicklung mehr. (Vergl. Fig. 35.)

Das Wölbfeld kann jede beliebige Grundrissform haben. Die umschliessenden Bogen können unabhängig voneinander festgestellt werden als Rundbogen, Spitzbogen, aufgestelzter Bogen, ja sie können Flachbogen, Ellipse und Parabel sein, schliesslich auch die Gestalt einer mathematisch ermittelten Stützlinie annehmen.

Genau dasselbe gilt für die Kreuzbogen. Die gleiche Freiheit besteht ferner für die gegenseitige Höhenlage von Schlussstein und Bogenscheitel. Endlich können die Rippen in zwangloser Weise vervielfältigt und zu den wunderbarsten Stern- und Netzfiguren zusammengestellt werden. Grenzen werden der gotischen Gewölbbildung überhaupt nur gesetzt — durch die Gesetze des Gleichgewichts der Kräfte und durch die Forderungen der Schönheit.

Diese Erfolge in der „Formgestaltung“ sind erstaunlich, durchaus ebenbürtig stellen sich ihnen zur Seite diejenigen, welche sich auf die „Herstellungsweise“ beziehen und die im letzten Endziele darauf hinauslaufen, die Masse des toten Stoffes sowie den Umfang der rohen Arbeit einzuschränken.

Gegensatz der römischen und gotischen Bauweise.

Um die Ziele der mittelalterlichen Bauweise richtig zu verstehen, ist es gut, sie vergleichsweise der römischen gegenüberzustellen.

Den Römern gestattete ihre Konstruktionsweise bei Aufwendung bedeutender Massen eine ziemlich grosse Freiheit für die Form. Sie nutzten diese Freiheit aber nicht aus, sondern legten die Form aus architektonischen Gründen in Fesseln. Für Bogen und Gewölbe erhoben sie den Halbkreis zu einer unabänderlichen typischen Bauform, die sich in gleiche Linie stellt mit den von den Griechen ihnen überkommenen Säulenordnungen.

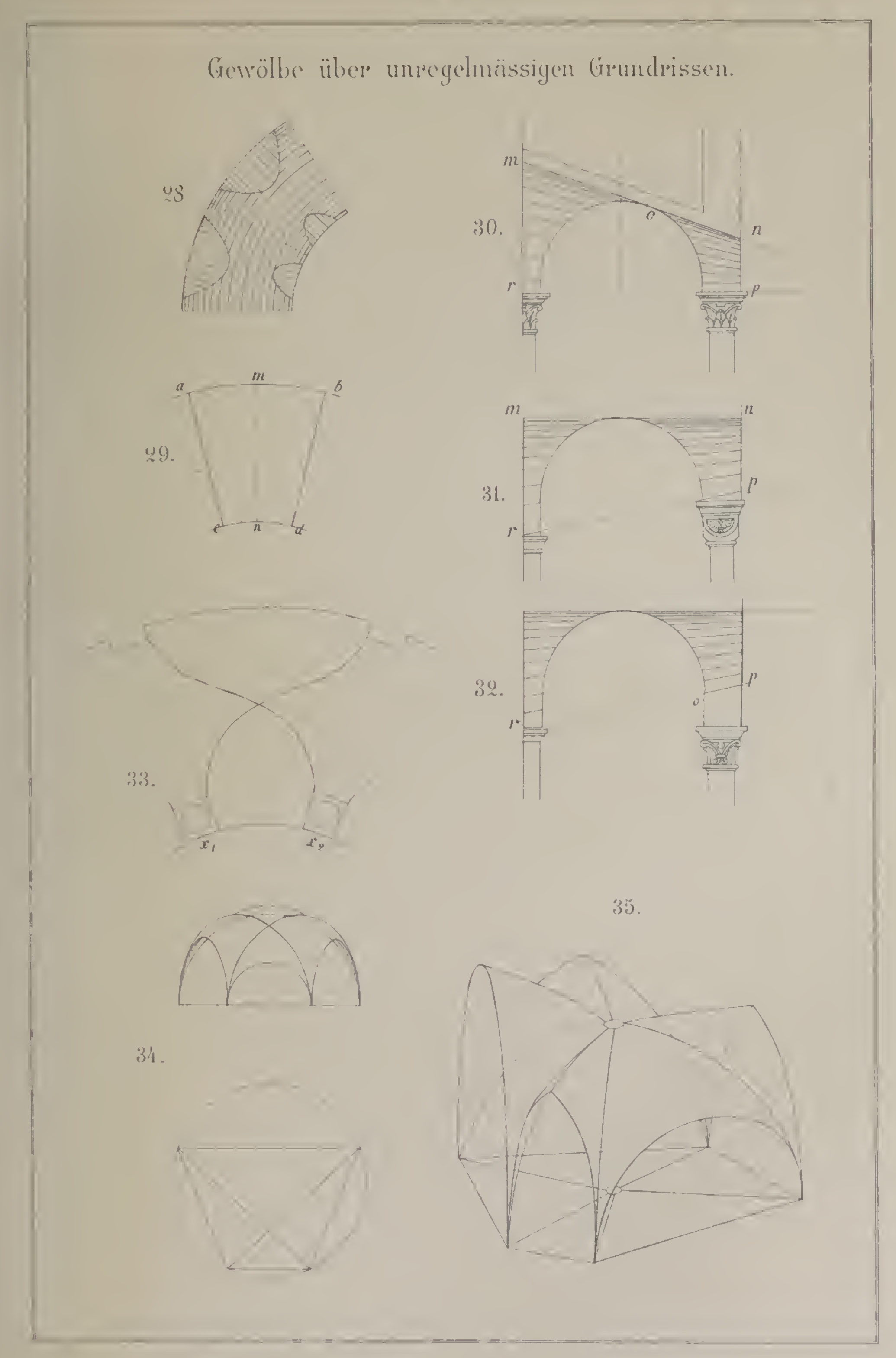
Das Mittelalter schlägt den entgegengesetzten Weg ein, es löst die bauliche Gestaltung vom äusseren Zwange der Form und giebt sie dem künstlerischen Schaffen frei, dafür überantwortet es dieselbe aber umgekehrt gerade der strengen Herrschaft der Konstruktion, welche mit den geringsten Massen arbeitet.

Der Barockstil verschmäht beide Fesseln er löst sich von strenger Form und Konstruktion, an deren Stelle setzt er in den Vordergrund die künstlerische Laune.

Für den römischen Baumeister lag die Bauform von vornherein fest, derselben musste sich seine Konstruktion anpassen. Der gotische Meister musste die Form mit und aus der Konstruktion bilden und ihr sodann das künstlerische Gepräge geben; er hatte vielleicht einen mühsameren Weg, aber nur auf diesem konnte er seine Aufgaben in einer Richtung lösen, die dem Römer nicht zugänglich war.

Der Unterschied tritt besonders hervor in der Einschränkung der Masse. Während die römischen Gewölbe selten unter 1,2 m, oft aber selbst 2—3 m Scheitelstärke aufweisen, und auch noch die romanischen Wölbungen bei mittleren Spannweiten eine Stärke von 40—50 cm und mehr haben, lassen sich gotische

Tafel V.



Gewölbe über unregelmässigen Grundrissen.
28
29.
a
m
b
n
d
30.
m
o
n
r
p
31.
m
n
p
r
32.
p
o
r
33.
x_1
x_2
34.
35.



Sterngewölbe konstruieren, die bei angemessener Ausführung der Rippen selbst über weiten Räumen nur einer Kappenstärke von 10 cm und weniger bedürfen. Die Ersparnis an Widerlagsmasse hält damit gleichen Schritt, diese tritt überhaupt nur noch auf, wo Kräfte wirken; demgemäss zeigt der vollendete gotische Kirchenbau eine klare Trennung in ein tragendes Gerüst und in füllende Flächen.

Das lässt sich am Bau von oben bis unten verfolgen. Im Gewölbe bilden die Kappen leichte füllende Flächen, während die Rippen zu tragen haben, letztere übergeben ihre senkrechte Kraft Pfeilern, deren Dicke nur gering zu sein braucht; den wagerechten Schub dagegen überliefern sie kräftigen, widerstehenden Strebebogen und Strebepfeilern. Die Umfassungswand hat auch hier nur abzuschliessen, sie besteht je nach ihrer Bestimmung aus Stein oder selbst aus einer frei sich ausdehnenden Glasfläche.

Die Wirkung der Kräfte muss bei beiden Baurichtungen als eine grundverschiedene angesehen werden. Ein echt römischer Bau bildet einen einzigen leblos ruhenden, gewaltigen Körper, der zu vergleichen ist mit einem ausgehöhlten Steine oder wenn man will mit einem gebrannten Thongefässe. Gehalten wird das Ganze durch die inneren Kräfte, die von der Festigkeit des Stoffes abhängen.

Das gotische Bauwerk gleicht mehr einem lebendigen, elastischen Systeme zahlreicher Einzelkörper, die durch aufeinander wirkende Kräfte in einer bestimmten Gleichgewichtslage gehalten werden. Tritt eine äussere Formveränderung ein, senkt sich zum Beispiel die Grundmauer einerseits ein wenig, so wird das römische Werk gleich einem Gefässe in einige Stücke zerbersten; der gotische Bau hingegen wird mehr eine Verschiebung und Verdrückung der einzelnen Teile zeigen, die in etwas veränderter Stellung wieder eine Ruhelage anzunehmen suchen.

Der Gegensatz der beiden grossen Konstruktionsabschnitte des Römertums und des Mittelalters ist nach alledem ein einschneidender, er findet aber in der Geschichte leicht seine Begründung. Die Römer waren ein weltbeherrschendes Volk, ihnen standen unerschöpfliche Reichtümer und zahllose sklavische Arbeitskräfte zur Verfügung. Für sie ergab es sich aus der Natur der Sache, ohne Ansehung der Mittel so zu bauen, dass ein denkender Meister genügte, gewaltige Werke selbst in abgelegenen Gebieten durch Tausende wenig geübter Hände errichten zu lassen.

Unter anderen Bedingungen schuf das Mittelalter, seine Mittel waren massvoll, die Arbeitskräfte gezählt. Galt es dennoch Grosses zu leisten, so musste der Umfang der rohen Masse und Arbeit beschränkt werden, kein Bauglied durfte Überflüssiges enthalten. Das war aber nur erreichbar durch ein vollendet durchgebildetes Konstruktionssystem, vom Meister sorgsam durchdacht, von kundigen mitdenkenden Werkleuten vollführt. Was die Römer vermochten durch Fülle und Macht, wird hier erworben durch die gesteigerte Leistung des Geistes.

Wenn die Auffassung des Römertums und des Mittelalters in ihren grössten Gegensätzen vorgeführt sind, so darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch alle Zwischenstufen erkennbar und je nach Lage der Dinge berechtigt sind.

Es sei bei dieser Gelegenheit auf einen Aufsatz Schlöbckes über „Stilformen und Arbeitsgesetz“ in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins 1895 verwiesen.

2. Die Konstruktion der Gewölbe. Allgemeines.*

Römische Wölbflächen, gotische Wölblinien.

Der wichtigste Unterschied des römischen von dem gotischen Gewölbe liegt in dem Verhältnisse der dasselbe bildenden Flächen zu den begrenzenden Linien. In ersteren sind diese Flächen, also die Mantelflächen der das Volle des Gewölbes bildenden Körper, des Halbcylinders oder der Halbkugel, die bestimmenden Teile in der Weise, dass bei dem Kreuzgewölbe wie bei der über dem Vierecke gespannten Kuppel (dem sogen. böhmischen Gewölbe) die begrenzenden Linien durch Ausschnitte aus diesen Körpern sich bilden. Nach dem gotischen Prinzipe wird von vornherein die zu überwölbende Grundfläche durch die aus dem angenommenen Systeme hervorgehenden Linien geteilt, über diesen Linien werden dann die einzelnen Bogen geschlagen, welche als Gerippe des Ganzen das die eigentliche Überdeckung bewirkende Kappengemäuer zwischen sich aufnehmen und tragen.

Es sei Fig. 36 die Grundrissform eines römischen Kreuzgewölbes, welches dann im Aufrisse aus vier gleichen Ausschnitten aus dem Halbcylinder *a b c*, *b c c* etc. besteht. Über den Seiten des Raumes *a b*, *b c* wölben sich also Halbkreise und ein jeder diesen Seiten parallel gelegte Schnitt durch die Gewölbefläche *f g* oder *h i* bildet ein Segment desselben Halbkreises, durch dessen tiefsten Punkt die Höhe des Diagonalbogens gegeben wird, so dass derselbe sich durch diese Segmente bestimmt. Die Ausführung geschieht über einem Lehrgerüste, welches gewissermassen das Volle des Gewölbes darstellt, dessen Aussenfläche daher der innern Gewölbefläche entspricht. Auf diese Aussenfläche werden die das Gewölbe bildenden Steine oder Ziegel entweder in einer zu den verschiedenen Segmenten radialen Stellung hingemauert (Fig. 30*a*), oder aber es wird darauf nach altrömischer Weise ein aus Mörtel und Ziegelbrocken bestehender Guss gebracht.

Gemauerte Gewölbe, Gussgewölbe.

Im ersteren Falle haben die einzelnen Steine entweder eine keilartige Form, d. i. ihre Seitenflächen divergieren nach der Richtung der Radien, und die dazwischen befindliche Mörtelfuge nimmt dieselbe Gestalt an (Fig. 37), wenn nämlich das Ganze aus behauenen Steinen oder Formziegeln gemauert wird; wenn dagegen nur gewöhnliche Ziegel zur Disposition stehen, so behalten dieselben in der Regel ihre parallelepipedische Form, und nur die Mörtelfuge erhält eine um so stärkere Divergenz nach oben (Fig. 37*a*). Es bindet also dann die Mörtelfuge die Ziegel an ihre Stelle, und zwischen denselben kann die keilige Fuge nach unten nicht weichen.

Beim Gussgewölbe ist die Form der gebundenen Steine eine ebenso unregelmässige, wie die der bindenden Mörtelmasse, und gerade in dieser Unregelmässigkeit liegt die Haltbarkeit des Ganzen, indem der Mörtel, in die Vertiefungen in und zwischen den Steinen und Ziegelbrocken eindringend, das Ganze zu einer Masse verbindet.

Nach der ersten Ausführungsweise ist daher die Lage eines jeden Steines gesichert, und kann das Lehrgerüst herausgenommen werden, sobald das Ganze

* Das vorliegende Kapitel ist ungeachtet einiger Wiederholungen wegen der darin enthaltenen grundlegenden Anschauungen Ungewitters unverändert aus den früheren Auflagen übernommen.

geschlossen ist, nach der zweiten erst dann, wenn die ganze Masse erhärtet ist. Es entsteht demnach durch dieselbe eigentlich nur eine aus zusammenhängendem Körper gebildete Decke, welche die bogenförmige Gestalt nur deshalb hat, damit der Last nicht allein die relative, sondern auch die rückwirkende Festigkeit der Masse entgegenwirkt, während man über einer kleineren Fläche auch eine ebene Decke daraus hätte bilden können und wirklich im 12. Jahrhundert sogar Fensterstürze daraus bildete.

Ausführung der Kuppel.

Die *Ausführung einer Kuppel* kann gleichfalls auf beiderlei Weise geschehen, durch einen auf das halbkugelförmige Lehrgewölbe zu bringenden Guss oder durch wirkliches Heraufmauern.

In der Art und Weise der letzteren Ausführung bringen die besonderen Eigenschaften der Halbkugel eine wesentliche Veränderung hervor und ermöglichen eine wichtige Vereinfachung. Das Tonnengewölbe und das daraus gebildete römische Kreuzgewölbe bestehen aus einzelnen wagerechten, geradlinigen Schichten, die sich in dem den Halbcylinder erzeugenden Halbkreise oder Segmente verspannen, mithin erst nachdem derselbe geschlossen ist, eine gesicherte Lage erhalten. Einen Stein aus solcher Schicht zeigt Fig. 38. Im Kuppelgewölbe dagegen bildet eine jede der gleichfalls wagerecht liegenden Schichten einen Kreis. Ein jeder Stein einer solchen Schicht erhält etwa die in Fig. 38a gezeigte Gestaltung, verspannt sich also erstlich als Bestandteil des den Durchschnitt der Kuppel bildenden Halbkreises und sodann des Kreises, den eine jede horizontale Schicht ausmacht. Er erhält also schon eine gesicherte Lage, sobald diese Schicht geschlossen ist. Kann daher letzteres ohne Lehrgerüst geschehen, so ist ein solches überhaupt überflüssig. Man denke sich eine von Ziegeln auszuführende Kuppel. In dem unteren Drittel nähert sich die Lage der Schichten so sehr der Wagerechten, dass die einzelnen Ziegel ohne Bindemittel aufeinander liegen bleiben. Weiter hinauf tritt der Mörtel in Kraft und zwar um so leichter, als er dicker genommen wird und die Arbeit langsamer vor sich geht, so dass er anziehen kann. Zugleich aber werden mit jeder oberen Schicht die Radien der in der wagerechten Ebene liegenden Kreise kleiner, so dass die einzelnen Ziegel dann, wenn die Bindekraft des noch nassen Mörtels nicht mehr ausreicht, einstweilen gehalten werden können. Immerhin aber bleibt das Schliessen der Kuppel eine schwierige Arbeit durch die Bemühung sowohl die Ziegel an ihrer Stelle zu halten, wie durch die Notwendigkeit dieselben den mit kleineren Radien geschlagenen obersten Kreisen anzupassen. Zu der ganzen Ausführung bedarf man eines Mittels, welches jedem einzelnen Steine seine Stelle anweist. In der Romberg'schen Zeitschrift für praktische Baukunst hat der verstorbene v. Lassaulx ein solches angegeben, welches darin besteht, dass in dem Centrum der Kuppel eine Stange von der Länge des Radius angebracht ist, welche sich in der horizontalen und vertikalen Ebene um diesen Mittelpunkt dreht, daher durch ihre Berührung einem jeden Steine seinen Platz bestimmt.

Ausführung der Hängekuppel.

Die obengenannten Stabilitätsverhältnisse erleiden eine Abänderung, wenn die *Kuppel über einem Vierecke* gewölbt ist, für die unteren Schichten derselben. Eine derartige Kuppel zeigt Fig. 39 im Grundrisse, Fig. 39a im Durchschnitte nach $e g$ und Fig. 40 in Perspektive. Es ist dann das Quadrat $a b c d$ der zu

überkuppelnde Raum, mithin der Radius der Kuppel $= a C$ und der nach der Linie $a b$ durch dieselbe gelegte Schnitt ein Halbkreis. Während nun in der über dem Kreise geschlagenen Kuppel eine jede wagerechte Schicht einen vollen in sich verspannten Kreis bildet, dessen Radius mit jeder folgenden abnimmt, so ist das hier erst dann der Fall, wenn die Schichten dem in das Quadrat beschriebenen Kreise entsprechen, d. h. oberhalb der sich über den Seiten des Quadrates wölbenden Halbkreise, also von der in Fig. 39 a mit $f g$ bezeichneten Schicht an. Alle unterhalb $f g$ gelegenen Schichten bilden nur noch Kreissegmente, die, sich zwischen den Seiten der Grundform verspannend, ihren Druck unmittelbar auf diese ausüben.* Sie würden dies ganz in derselben Weise thun, wenn ihre Bogen statt aus dem Mittelpunkte C mit ganz willkürlichen Radien geschlagen wären, d. h. wenn z. B. die in der Höhe $n o$ liegende Schicht statt des Segmentes $h i k$ das Segment $h l k$ oder $h m k$ bildete. Es wird daher die Beibehaltung des Mittelpunktes C für die in der wagerechten Ebene liegenden Kreise nur durch die Rücksicht auf die von $e m$ an beginnenden Schichten geboten, welche auf den darunter befindlichen ihre Stützpunkte finden müssen. Denkt man sich nun die beiden seither entwickelten Systeme des Kreuzgewölbes und des Kuppelgewölbes miteinander verbunden, so entstehen allmählich alle Eigenschaften des gotischen Gewölbes von selbst. Es handelt sich bei dieser Verbindung darum, dem Kreuzgewölbe die dem Kuppelgewölbe eigentümliche gesicherte Lage einer jeden Schicht, oder umgekehrt dem Kuppelgewölbe die Teilung der grossen Fläche in vier kleinere durch die Diagonalbogen und somit beiden eine leichtere Ausführbarkeit anzueignen. Fig. 41 zeigt zunächst den wagerecht durch das Kreuzgewölbe Fig. 36 gelegten Durchschnitt. In Fig. 39 verspannen sich, wie gesagt, die unteren Teile, die Füsse der Kuppel. zwischen den über den Seiten des Raumes geschlagenen Bogen, wie Fig. 40 in der Perspektive zeigt. Ebenso könnten sich dieselben zwischen den über den Seiten und den Diagonalen geschlagenen Bogen des Kreuzgewölbes verspannen, mithin die Kappenflächen in dem Grundrisse 41 statt durch gerade Linien durch Segmentbogen begrenzt sein, wie Fig. 41 a zeigt. Sofort wird, wenn die Lage des in dem Diagonalbogen liegenden Punktes b gesichert ist, auch die Lage der beiden Schichten $a b$ und $b c$ es sein, also der Unterschied in der Ausführung im Vergleiche zum Kuppelgewölbe nur noch darin liegen, dass, während man im letzteren nur zur Ausführung der über die Seiten geschlagenen Bogen Lehrbogen bedurfte, hier solche auch für die Diagonalen nötig werden. Während hierbei sämtliche Bogen sowohl über den Seiten wie den Diagonalen des Raumes unverändert bleiben, tritt doch in den Stabilitätsverhältnissen des ganzen Gewölbes eine wesentliche Veränderung ein. In Fig. 41 verspannt sich der einzelne Stein, wie schon gesagt, nur als Bestandteil des den Cylinderteil

Vereinigung der Eigenschaften von Kuppel und Kreuzgewölbe.

* Es ist zu beachten, dass sich nicht, wie es nach Obigem scheinen könnte, die kleinen liegenden Ringschichten der Zwickel lediglich mit ihren Enden zwischen den Wänden verspannen. In der Längsrichtung der Schichten kann zwar auch eine ringförmige Verspannung stattfinden, der eigentliche Gewölbdruck der Kuppel überträgt sich aber von oben nach unten in meridionaler Richtung von der einen Schicht auf die andere, bis er in die Umschliessungswände übergeht. Siehe hinten S. 57.

erzeugenden Halbkreises oder Segmentes, drückt also erst da auf den Diagonalbogen, wo der Bogen, dem er zugehörig ist, darauf trifft. So wird der Stein *s* erst in *t* den Diagonalbogen belasten. In Fig. 41 *a* verspannt er sich dagegen in dem Segmente *a b*, drückt also auf den in derselben Höhe gelegenen Stein des Diagonalbogens und verpflanzt in dem letzteren seine Last nach unten.*

Während also nach Fig. 41 der unterste Punkt des Diagonalbogens die volle Last des Halbkreises, jeder weiter vorgeschobene Punkt die eines kleineren Segmentes, und der Scheitel schliesslich gar nichts mehr zu tragen hat, tritt hier das umgekehrte Verhältnis ein, indem auf den Scheitel unmittelbar das Segment der Schicht presst, der unterste Punkt aber von dem Kappengemäuer gar nicht, sondern allein durch den sich nach unten fortpflanzenden Druck des Bogens selbst belastet wird.

Dieser überaus beträchtlichen Belastung des Scheitels zu widerstehen ist die gleichsam zufällig aus der Durchdringung zweier Halbcylinder entstandene Diagonalbogenlinie des römischen Kreuzgewölbes wenig geeignet, insofern sie, wie Fig. 36 *b n d* zeigt, auf eine ansehnliche Länge am Scheitel *n* sich der Wagerechten nähert, also gerade da, wo die Last am grössten ist, ihre schwächste Stelle hat. Sie musste daher durch eine reine Bogenlinie ersetzt werden, also zunächst durch den Halbkreis. Nehmen wir nun, immer bei dem quadratischen Grundrisse stehen bleibend, den Halbkreis als Diagonalbogen und das ganze Gewölbe nach römischem Prinzipe in der Weise gebildet an, dass derselbe seine wirkliche diagonale Durchschnittslinie abgäbe, so wird der rechtwinklige Durchschnitt durch ein Viertel des Gewölbes eine auf der kleinen Axe stehende Halbellipse sein, die sich aus dem Halbkreise in umgekehrter Weise entwickelt wie in Fig. 36 der elliptische Diagonalbogen aus dem über die Seite geschlagenen und das Gewölbe erzeugenden Halbkreise. Derartige Gewölbe finden sich noch in einzelnen frühgotischen Werken, an dem Kreuzflügel der Stiftskirche zu Wetter** und, wenn wir nicht irren, der Collegiatkirche zu Mantes. Immerhin zeugen sie von einer noch unvollendeten Durchbildung des gotischen Systemes, dessen Konsequenz darauf führte, sämtliche Bogen sowohl über den Diagonalen wie über den Seiten als das Gerippe des ganzen Gewölbes durch reine Bogenlinien d. i. durch Kreisteile zu bilden.

Halbkreisförmige Kreuzgrate

Denkt man sich nun auch die letzteren Bogen wieder als Halbkreise, so kommt man auf das Kuppelgewölbe zurück, und allein der wagerechte Durchschnitt der Kappenflächen kann die Unterscheidung ausmachen. Der Scheitel der Diagonalbogen sitzt aber wie beim Kuppelgewölbe hoch über den über den Seiten des Raumes geschlagenen Bogen, und es entsteht selbst schon bei quadratischer, noch mehr aber bei rectangulärer Grundform über den letzten Bogen ein Höhenverlust, welcher der Differenz der Seite und der Diagonale entspricht. Gewölbe dieser Art finden sich z. B. im Dom zu Trient.*** Um diesen in praktischer wie ästhetischer Hinsicht gleich nachteiligen Höhenverlust zu vermeiden, war es notwendig, die

* Letztere Annahme ist nur teilweise zutreffend, vergl. darüber hinten Fig. 117—120.

** Nach SCHÄFER (Centralblatt der Bauverwaltung 1885) nicht zu Wetter, sondern in der Godehardskapelle zu Mainz.

*** Mittelalterliche Kunstdenkmäler im österreichischen Kaiserstaate.

Höhen der Bogen von ihrer Spannung unabhängig zu machen, zunächst den über die Seiten geschlagenen Bogen eine grössere Höhe zuzuteilen.*

Spitzbogen über den Seiten.

Die oben angeführte Belastung der Scheitel hatte aber schon vorher darauf geführt, den über den Seiten der Räume geschlagenen Bogen eine diese Punkte verstärkende Form zu geben, also den Spitzbogen für den Rundbogen zu substituieren. Über die Entstehung und Herkunft dieser Bogenformen sind bereits so viele Meinungen verbreitet, dass wir uns hüten werden, eine neue Hypothese zu wagen, zumal dieselbe weitaus nicht die ihr beigemessene Wichtigkeit hat und ein völlig gotisches Gewölbe recht wohl ohne einen einzigen Spitzbogen gedacht werden kann.

In der Wahl der Radien des Spitzbogens aber lag ein ausreichendes Mittel, eine jede beliebige Höhe zu erreichen, mithin die Höhenverhältnisse der Scheitel nach Belieben zu regeln, somit jenen Höhenverlust zu vermeiden.

Schichtenlage in den Kappen.

In dem romanischen Tonnengewölbe und Kreuzgewölbe liegen die Fugen der einzelnen Schichten parallel den die gegenüberliegenden Bogenscheitel verbindenden Linien. Dieselbe Fugenrichtung wurde auch in dem gotischen Kreuzgewölbe zunächst beibehalten und nur in den späteren Ziegelbauten durch eine andere verdrängt. In den Figuren 41 und 41*a* ist dieselbe angenommen. Fig. 42 zeigt dann die Ansicht eines nach dieser Weise bis auf etwa die Hälfte der Höhe gemauerten Gewölbes, wonach also auf dem Diagonalbogen die Wölbsteine entweder auf Kehrung gehauen würden, wie Fig. 41*a* zeigt, oder nach Fig. 32*b* eine hakenartige Form erhielten. Im ersteren Falle würde sowohl die durchgehende Fuge als die spitzwinklige Gestalt der Steine einen Übelstand bilden und letzterer sich steigern, wenn die Kappenschichten, wie 41*a* zeigt, nach Segmentbogen gebildet sind. Im letzteren Falle würde die Bearbeitung der Hakensteine umständlich sein und keinen entsprechenden Nutzen gewähren, da der dadurch bewirkte Verband der Kappenflächen über dem Diagonalbogen durchaus nicht nötig ist. Hiernach liegt es am nächsten, die Diagonalbogen für sich bestehen zu lassen und aus radial gestellten Steinen nach Fig. 43 zu bilden, so dass die einzelnen Kappenschichten sich gegen dieselben verspannen. Hiernach war das System der Rippengewölbe schon gefunden und es bedurfte nur einer Verstärkung des Diagonalbogens und der Annahme einer selbständigen Form für denselben, um von der Fig. 43 in die Gestaltung von Fig. 43*a* zu gelangen. Gemäss der eben angeführten Unterscheidung des gotischen Gewölbes von dem römischen, stellen sich demnach als charakteristische Eigenschaften des ersteren heraus:

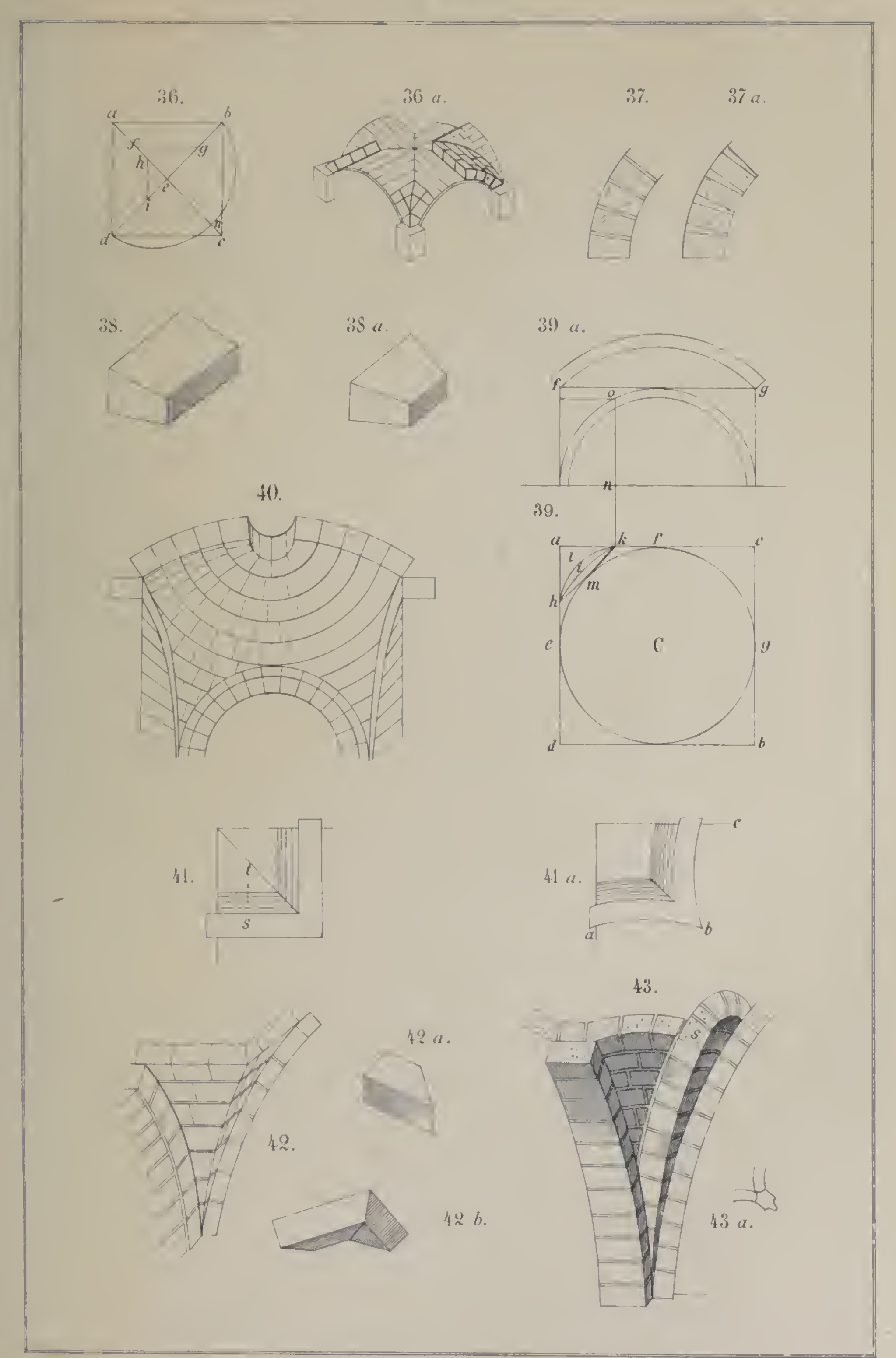
Vortretende Rippen

1. die Bildung der Kappenschichten nach Segmentbogen, d. i. die Busung oder der Busen,
2. die Regelung der Höhenverhältnisse der einzelnen Bogen,
3. die selbständige Ausführung und Behandlung derselben.

Ferner aber wird aus dem Gesagten erhellen, dass das gotische Kreuzgewölbe

* Der Höhenverlust ist relativ, je nachdem man vom Scheitel des Schildbogens oder vom Gewölbewiderlager als festem Punkte ausgeht.

Tafel VI.





die früheren Wölbungsregeln des römischen Kreuzgewölbes und der Kuppel in sich vereinigt und sich gewissermassen als notwendige Folge derselben darstellt.

Die Benennung der Bestandteile des gotischen Kreuzgewölbes.

Es sei Fig. 45 der Grundriss des zu überwölbenden Raumes, in welchem die Anordnung des Gewölbes angegeben ist. Es heissen dann die Grundrissfiguren, hier die beiden Rechtecke *abcd* und *bdef*, die Gewölbejoche oder Gewölbefelder; die über den Seiten der Joche *ab*, *be*, *ac*, *ef* usw. sich bildenden Bogen nennt man im allgemeinen Stirnbogen oder Randbogen, insofern sie aber durch Mauern geschlossen sind, Schildbogen. Benachbarte Joche scheidende Bogen, wie *bd*, welche also anstatt der Mauern *ac* eintreten, heissen Gurtbogen oder auch, wenn sie zwei Kirchenschiffe trennen, Scheidebogen. Über den Diagonalen der Joche liegen die Diagonal- oder Kreuzbogen, welche sich einfachsten Falles nur durch die Kantenlinien der in ihnen zusammenstossenden Kappenflächen bilden und dann Gewölbegrate genannt sind. Treten sie durch einen mehr oder weniger reich profilierten Körper vor der Kappenflucht vor, so heissen sie Rippen, also je nach ihrer Grundrisslage, Gurtrippen, Kreuzrippen, Schildbogenrippen. Die höchsten Punkte der Bogen sind die Scheitel. Die Länge der Grundlinie, über die der Bogen gespannt ist, heisst die Spannung oder Spannweite, die Höhe des Scheitels über den Widerlagern die Pfeilhöhe. Man sagt also z. B. der Bogen *ab* hat bei 5 m Spannung 3 m im Pfeil. Die sich zwischen die erwähnten Bogen spannenden Gewölbflächen sind die Kappenflächen, oder, körperlich genommen, die Kappen; das Segment, nach welchem die Kappenschicht gemauert ist, heisst der Busen.

Bei komplizierteren Grundrissen der Stern- und Netzgewölbe fällt eine Benennung der einzelnen Bogen in der Regel weg, sämtliche Rippen oder Grate bezeichnet man wohl als die Reihungen des Gewölbes. Immerhin sind auch hier noch Unterscheidungen möglich in Hauptrippen, Zwischenrippen, Firstrippen usf. Das Werkstück, in welchem zwei oder mehrere Rippen entweder sich durchkreuzen oder zusammentreffen, ist der Schlussstein.

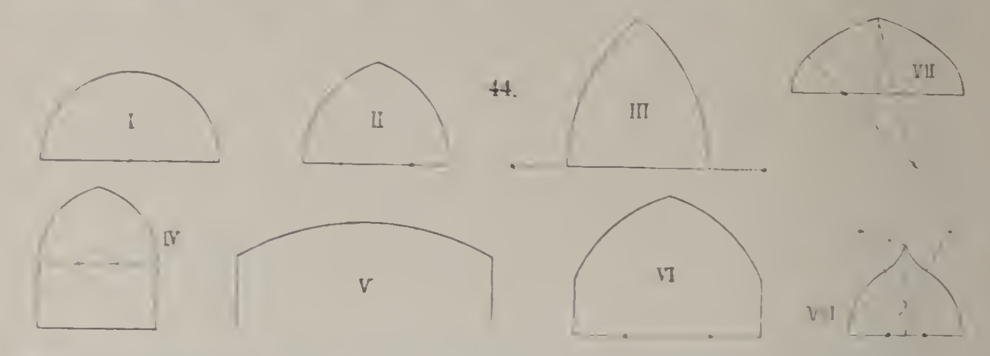
3. Die einfachen Kreuzgewölbe.

Die Aufrissgestaltung der verschiedenen Bogen des Kreuzgewölbes.

Das gotische Kreuzgewölbe gestattet den einzelnen Bogen in ihrer Aufrissentwicklung die grösste Freiheit. Sobald die eine Grundbedingung — das Gleichgewicht der Kräfte — erfüllt ist, kann jeder einzelne Bogen seine unabhängige eigene Gestaltung annehmen. Demgemäss zeigen die Wölbungen der Gotik die wechselvollste Mannigfaltigkeit. Die gängigsten Bogenformen sind neben dem Halbkreise (Fig. 44 I) der mehr oder weniger schlanke Spitzbogen (II, III) und der aufgestelzte oder überhöhte Spitzbogen (IV). Die Schenkel des Spitzbogens sind meist je aus einem, zuweilen aber auch aus mehreren Mittelpunkten geschlagen. (Fig. 48, 49). Bei geringer Konstruktionshöhe herrscht der Flachbogen (V) und der Flachspitz- oder Knickbogen oder spitzer Stichbogen (VI), letzterer besonders in der englischen, aber

Bogenformen.

auch in der deutschen profanen Gotik. In der späten, besonders englischen Gotik kommt auch viel der gedrückte Spitzbogen oder Tudorbogen vor, welcher aus 4 Mittelpunkten geschlagen wird (VII) sowie der mehr dekorative Eselsrückenbogen



(VIII). Schliesslich treten vereinzelt die Ellipse, der Korbbogen, Hufeisenformen und andere auf. Die Vorherrschaft hat wegen seiner Vielseitigkeit der Spitzbogen.

Gleichheit der Halbmesser Höhenlage der Scheitel.

Bei aller Ungebundenheit der Bogenformen können bestimmte Rücksichten darauf führen, die Bogen in gesetzmässige Beziehungen zu einander zu bringen. Diese äussern sich einmal bezüglich der **Halbmesser**, mit denen die Bogen geschlagen sind, sodann bezüglich der gegenseitigen **Höhenlage der Scheitel**. Im ersteren Falle ist die nächstliegende Konstruktion diejenige, nach welcher sämtliche Randbogen mit dem **gleichen Radius** wie die Kreuzbogen geschlagen werden. Siehe Fig. 45.

Der Kreuzbogen, der hier als Halbkreis angenommen ist, ist neben der Diagonale niedergeschlagen. Von Endpunkte b aus sind die Jochseiten $a\,b$ und $a\,c$ auf der Diagonale als $a'\,b$ und $c\,b$ abgetragen und über ihnen Spitzbogen errichtet mit dem Radius des Halbkreises. Die linksseitigen Zirkelpunkte der Spitzbogen fallen mit dem Mittelpunkte des Halbkreises C zusammen, die rechtsseitigen Punkte liegen auf der Grundlinie in C' bez. C''.

45.

Bei dieser Konstruktion haben alle Bogen in ihrem unteren Teile genau dieselbe Form, so dass sie sich, wie die Figur zeigt, mit ihrer einen Hälfte ineinanderschieben lassen. Es bietet diese Gestaltung grosse Vorzüge für den Gewölbeanfang, sie giebt ihm ein regelmässiges Aussehen und erleichtert seine Ausführung, besonders wenn zahlreiche Gliederungen fächerartig auseinander wachsen.

Der allgemeinen Verwendung dieser Anordnung stellen sich aber häufig Erschwerungen entgegen. Zunächst ist es oft hinderlich, dass die Höhenlage der Bogenscheitel durch sie festgelegt ist.

die Scheitel der Schildbogen liegen niedriger als die Gewölbemitte und weichen bei rechteckigem Joche auch untereinander ab und zwar um so merklicher, je mehr die zu überwölbende Grundform vom Quadrate sich entfernt. Zugleich aber werden wenn z. B. die Seiten des Joches sich verhalten wie 1 : 3, in *b e d f* die über den kurzen Seiten geschlagenen Bogen eine übermässig spitze (lanzettartige) Form annehmen (siehe $b\,S''\,e$ in Fig. 45).

Eine derartige Gestalt hat zwar für Schildbogen nicht geradezu konstruktive Nachteile und beeinflusst nur die etwaige Anbringung eines Fensters; desto entschiedener aber treten jene Nachteile an den Tag, wenn man sich die Wandflucht *b e* durch einen Gurtbogen ersetzt denkt, welcher, wenn er dem Schildbogen konzentrisch sich bewegt, an der inneren Leibung eine noch spitzere Gestalt erhält. Hierdurch aber wird die charakteristische Eigenschaft des Spitzbogens, die Tragfähigkeit seines Scheitels, in übermässiger Weise gesteigert, so dass jede auf die Schenkel wirkende Last oder Seitenkraft den Schlussstein aufwärtstreibt und nur durch eine entsprechende Belastung des Scheitels ausgeglichen werden kann. Noch mehr macht sich ein solcher Nachteil geltend, wenn dem in *e* wirkenden Seitenschube dieses Bogens *p q* der eines viel weiter gespannten *i i* entgegenwirkt. Nicht allein wird der letztere die Rolle jener auf die Schenkel von *b e* wirkenden und den Scheitel aufwärtstreibenden Kraft übernehmen, sondern er wird auch in dem auf ein Minimum reduzierten Seitenschube *b e* durchaus keinen Widerstand finden und daher eine wesentliche Verstärkung des Pfeilers *e* notwendig machen.

Die Abhängigkeit der Scheitelhöhle von der Wahl des Halbmessers kann somit unbequem werden, ja es kann sogar erforderlich sein, in erster Linie die Höhenlage der Scheitel für die einzelnen Bogen nach ganz bestimmten anderen Forderungen festzulegen. So können verschiedene Gründe verlangen, dass entweder sämtliche Scheitel in gleicher Höhe liegen, oder dass der Scheitel der Kreuzbogen, also die Gewölbemitte, höher hinauf geht, oder dass selbst die Spitze eines bezw. mehrerer Randbogen den Kreuzpunkt der Diagonalbogen überragt. Um den Forderungen nach beiden Seiten gerecht zu werden, hat man auf verschiedene Art versucht, die Scheitelhöhe nach Erfordernis festzustellen und dennoch sämtliche Bogen mit gleichem Halbmesser zu schlagen.

In dem gotischen ABC-Buche von Friedr. Hoffstadt (Frankfurt a. M. 1840) ist zu diesem Zwecke ein Verfahren angewandt, das aus Fig. 46 erhellt.

Für den Schildbogen von der Grundrissbreite *b e*, ist der Scheitel in *i* festgelegt — hier beispielsweise in gleicher Höhe mit dem Kreuzbogenscheitel. Sodann sind die beiden Äste des Spitzbogens mit dem Radius des Kreuzbogens aus den Mittelpunkten *k* und *l* geschlagen. Die Bogen schneiden seitwärts über das Lot hinaus und nehmen somit eine dem maurischen Hufeisenbogen entsprechende Gestalt an. Diese wenig empfehlenswerte Bogenform, die in gotischer Zeit nur vereinzelt z. B. in Canterbury zur Ausführung gelangt ist, liesse sich dadurch meiden, dass der Bogen vom Punkte *m* an unten in eine Senkrechte überführt wird. Dadurch entsteht aber ein aufgestelzter Knickbogen, der ebensowenig befriedigt und viel besser durch einen überhöhten regelrechten Spitzbogen ersetzt würde.

Da bei obiger Konstruktion die wünschenswerte Gleichheit der Bogenanfänge nicht erzielt ist, im übrigen aber wenig Vorteile aus der Gleichheit der Radien erwachsen, muss dieser Versuch als ziemlich nutzlos angesehen werden.

Ein anderer, bei knapper Konstruktionshöhe nahe liegender Versuch, gleiche Halbmesser zu erzielen, legt die Mittelpunkte der grösseren Bogen unter die Grundlinie, wodurch sich Knickbogen ergeben (Fig. 47). Die Erscheinung der letzteren ist bei geringer Senkung der Zirkelpunkte nicht sehr störend, statisch sind sie sogar

günstig, wenn sie dazu dienen, halbkreisförmige oder gar elliptische Gratbogen zu ersetzen. Die wünschenswerten gleichen Bogenanfänge werden auf diese Art allerdings auch nicht erreicht.

Zusammengesetzte Spitzbogen.

Beachtenswert ist eine Konstruktion, welche schon seit Ende des XIII. Jahrhunderts in der englischen Gotik zu grosser Verbreitung gelangt ist. Sie beruht darauf, dass sich jeder Bogen aus zwei Stücken zusammensetzt, die mit verschiedenem Halbmesser geschlagen sind und zwar derart, dass alle unteren Teile ein und denselben Halbmesser haben. Siehe Fig. 48.

Die unteren Bogenstücke $a b_1$ bezw. $a b_2$ und $a b_3$ sind sämtlich mit dem gleichen Radius $a o$ um den Mittelpunkt o geschlagen. Dagegen haben die oberen Stücke ihre Mittelpunkte in c_1 bez. c_2 und c_3. Die Scheitel sind, wie dies bei den reichen englischen Gewölben die Regel ist, in gleicher Höhe angenommen.

In dieser Weise ist es möglich, gleiche Bogenanfänge zu erzielen und doch die Scheitelpunkte für jeden Bogen beliebig festsetzen zu können. Die oft verkannte zusammengesetzte Bogenform, die sich naturgemäss vom Gewölbe auch auf die konzentrischen Fensterlinien übertrug, entbehrt also durchaus nicht einer gewissen praktischen Berechtigung, statisch ist diese Form allerdings meist weniger günstig als der gewöhnliche Spitzbogen.

Es würde nichts im Wege stehen, bei gebotener Veranlassung auch die in Fig. 49 skizzierte Spitzbogenform zu wählen, bei welcher gerade umgekehrt der obere Teil der Bogensätze mit kleinerem Halbmesser geschlagen wird, sie kann statisch günstig und bei geringer Abweichung der Halbmesser auch dem Auge ganz wohlthuend sein. Viollet-le-duc behauptet in seinem „Dictionair etc.“ Bd. VI S. 29, dass im XII. Jahrhundert vielfach Spitzbogen auftreten, deren Schenkel in ihrem mittleren Teile mit einem vergrösserten Radius geschlagen seien. Auch dadurch könnte eine statisch günstige Form gewonnen werden.

Im allgemeinen ist es nicht empfehlenswert, bestimmten schematischen Konstruktionsregeln eine gar zu hohe Bedeutung beizumessen, man soll sich vielmehr in erster Linie von den Rücksichten auf die jeweiligen praktischen Anforderungen und die Schönheit leiten lassen. Meist gelangt man zum Ziele durch den gewöhnlichen Spitzbogen; wenn man von der Gleichheit der Radien absieht, wird es leicht, mit Hülfe desselben den Bogen eine beliebige Gestaltung und nötigenfalls durch Aufstelzen auch jede beliebige Höhe zu geben.

Aufstelzung.

Ist es beispielsweise erwünscht, den Schildbogen durch ein Fenster oder eine freie Öffnung von einer bestimmten Bogenform zu durchbrechen, so zeichnet man zweckmässig den Schildbogen konzentrisch um letztere herum (vergl. Fig. 50) und stelzt dabei den Bogen $b\,r\,e$ so weit auf, als es die gewünschte Scheitelhöhe bedingt. In der vorliegenden Figur ist angenommen, dass der Schildbogen gleiche Scheitelhöhe mit dem daneben dargestellten spitzbogigen Kreuzbogen haben soll. Die Schwierigkeit, welche die Aufstelzung für den Gewölbeanfang usf. ergeben kann, wird an geeigneter Stelle besprochen werden.

Die Aufrissentwicklung der Bogen von mehreren aneinander stossenden, verschiedenartigen Gewölbejochen, wie sie bei mehrschiffigen Kirchen vorkommen macht besonders ein geschicktes Abwägen erforderlich. Es kann hier entweder ein wohlthuendes Abstufen der Höhen stattfinden, oder es können, wenn das Vorhandensein eines oberen Fussbodens oder ein ähnlicher Grund es bedingt, die

Scheitel in gleiche Höhe gebracht werden. Es führt die Wahl verschiedener Radien und die Verwendung der Aufhöhung immer zum Ziele. Natürlich dürfen die statischen Anforderungen und die Schwierigkeit der Anfängergestaltung (siehe dort) nicht ausser acht gelassen werden.

Gewölbe über unregelmässigen Grundrissfeldern.

Trapezförmige Felder

Besondere Beachtung erfordern unregelmässige Joche. Ist die Grundform des zu überwölbenden Raumes ein Trapez, wie *abcd* in Fig. 51, so können die Kreuzbogen nicht geradehin über den Diagonalen geschlagen werden, weil dann jeder Kreuzbogen aus zwei sehr ungleichen Ästen bestände, von denen der kleinere, wie Fig. 51a zeigt, entweder überhöht oder nach einem weit grösseren Halbmesser geschlagen werden müsste. Hieraus würde aber der statische Nachteil hervorgehen, dass die grössere Hälfte die kleinere hinüberdrängen, mithin die Stabilität gefährden könnte. Es muss daher der Scheitel aus dem Diagonalschnitt *C* fortgerückt werden nach der grösseren Grundlinie hin, etwa nach der Mitte *C'* der Mittellinie *ef* oder besser noch ein wenig weiter bis zum Schwerpunkt *C''* der Trapezfläche. Es werden dann die vier Gratbogenhälften annähernd gleiche Spannung erhalten. Wollte man noch weiter gehen und etwa den Scheitel über den Punkt *g* legen, welcher von den vier Eckpunkten gleichen Abstand hat, so könnte man dadurch zwar vier einander ganz gleiche Gratbogen erzielen, aber das Gleichgewicht wäre nun nach umgekehrter Richtung gestört. Es würde jetzt der Gesamtschub der Bogen *dg* und *cg* denjenigen der beiden anderen überwiegen und somit der Scheitel gegen die grosse Grundlinie hin gedrängt werden. Man wird daher auf diese Lage des Schlusspunktes verzichten müssen.

Verschiedene versuchsweise entstandene Anordnungen zeigt das Mittelalter zu der Zeit, als es galt, den trapezförmigen Feldern des Chorumganges eine schickliche Kreuzwölbung zu geben (siehe vorn S. 17). So waren beim Chor der Kathedrale zu Langres (vgl. Viollet-le-duc Bd. IV S. 70) die Kreuzbogen noch über den Diagonalen gespannt, sie hatten dabei die Form des Halbkreises. Ihr Durchdringungspunkt lag daher weit unter dem Scheitel, so dass der herabgerückte Schlussstein eine geneigte Lage erhielt.

Oft kommt es vor, dass die Kreuzbogen in der Grundrissprojektion keine gerade, sondern eine gebogene Linie bilden. Abgesehen davon, dass schon am römischen oder frühen romanischen Gewölbe diese Form beim unregelmässigen Zusammenschnitt von Cylinder- oder Kegelflächen von selbst entsteht (vergl. Fig. 33 und 201), ist sie später bei gotischen Rippengewölben bisweilen mit Absicht verwendet und zwar aus zwei Gründen. Entweder weil man gern zwei gleiche Zwickelanfänge für die benachbarten Kappen haben wollte und daher die Rippe in Richtung der Winkelhalbierenden beginnen liess, oder weil man ein seitliches Ausbauchen beim Zusammentreten zweier ungleich schiebender Kappen verhüten wollte. Von den bei den Netzgewölben der letzten Periode häufig vorkommenden sogenannten gewundenen Bogen wird noch die Rede sein.

Bei völlig unregelmässigen Grundformen (siehe Fig. 52 und 53), mögen sie vier oder mehr Seiten haben, verfährt man in der Regel am besten, wenn man den

Völlig unregelmässige Grundrisse.

Schlussstein in den Schwerpunkt der Grundrissfläche legt. (Letzteren bestimmt man für unregelmässige Formen genügend genau dadurch, dass man die Fläche in starkem Papier ausschneidet und auf einer Zirkelspitze schweben lässt oder noch besser, dass man das Papierstück nacheinander an zwei beliebigen Punkten aufhängt und den Schnittpunkt der von den Aufhängungspunkten ausgehenden Lotlinien ermittelt.) Meist werden sämtliche Grate verschiedene Länge erhalten, man bestimmt am besten zunächst die Aufrissgestalt für den längsten und danach diejenige der übrigen.

Dreieckige Wölbfelder.

Einigermassen abweichend aber gestaltet sich die Überwölbung einer dreieckigen Grundform.

Es kann dieselbe zunächst aus dem einfachen Bedürfnisse sich bilden. Es kann z. B. in Fig. 54 der zu überwölbende Raum durch die Gurtbogen *ef* und *gd* in rechteckige Felder in der Weise zerlegt werden, dass das Dreieck *gbd* übrig bleibt. Oder aber es können gegen die langen Seiten des zu überwölbenden Rechteckes *abcd* in Fig. 55, die gegeneinander versetzten Scheidemauern *ee*, *ff* und *gg* treten. Ist die Umfassungsmauer des Raumes selbst nicht stark genug, den Gewölbeschub aufzunehmen, so müssen die Scheidemauern als Widerlager dienen, dadurch zwingen sie aber den einzelnen Jochen die dreieckige Grundform *eag* und *egf* etc. auf. Die Sakristei in der Petripaulskirche zu Stettin zeigt einen annähernd quadratischen Grundriss in drei Dreiecksfelder zerlegt (Fig. 56). Hier scheint der Anschluss an die Kirche durch einen seitlichen Zugang *m* die Hauptveranlassung zur Einschaltung des fünften Stützpunktes *e* gewesen zu sein. Eine fernere Veranlassung zu dieser Grundform kann sich bei den grösseren mit Umgängen versehenen Choranlagen ergeben, von denen in der Folge die Rede sein wird.

Die Ausführung des Gewölbes über einem Dreiecksfelde kann in verschiedener Weise geschehen. Entweder verspannen sich die Kappen unmittelbar gegen die drei Stirnbogen und schneiden oben walmartig zusammen (s. Fig. 57), wie solches z. B. in den Chorumgängen der Kathedrale von Paris und von Notredame zu Chalons vorkommt, oder aber es ist die dreieckige Grundform noch weiter geteilt durch die drei Linien *ah*, *hg* uud *he* in Fig. 55, welche dann die Projektionslinien der eigentlichen Kreuzrippen sind, während die über den Dreiecksseiten geschlagenen Bogen in das Verhältnis der Gurtbogen treten. Ein sehr schönes Gewölbe der letzteren Art befindet sich in der unteren Halle des Römers zu Frankfurt a. M. Die Figuren 57 und 58 zeigen die Unterschiede beider Wölbungsarten in perspektivischer Ansicht. In der letzteren kann das Auftragen der einzelnen Bogen in derselben Weise geschehen, wie bei dem vierseitigen Kreuzgewölbe, so dass man mit der Konstruktion der Kreuzbogen den Anfang macht. Beide Wölbungsarten lassen sich in einem Gewölbe von der in Fig. 55 gegebenen Grundform verbinden, in der Weise, dass die grösseren Dreiecke *aeg* etc. nach Fig. 58 und die an den Seiten übrig bleibenden kleineren *aec* eben wegen ihrer geringeren Grösse nach Fig. 57 zugewölbt werden. Das dabei verwendete walmartige Herauswölben aus den Ecken kann auch auf vierseitige Felder übertragen werden, es entsteht sodann die interessante aber selten ausgeführte Form des übereckgestellten Klostergewölbes (Fig. 14a).

Flache Gewölbebogen.

Wo es an Höhe mangelt, wie das vornehmlich bei Nutzbauten der Fall ist, da können die Gewölbebogen statt nach dem Halbkreise oder Spitzbogen nach dem Stichbogen gebildet werden oder auch nach dem in der englischen Profangotik sehr bevorzugten Knickbogen, d. h. Spitzbogen mit gebrochenem Widerlager. In

Tafel VII.





der Konstruktion stimmen derartige Kreuzgewölbe mit den besprochenen überein. Soll z. B. in Fig. 59 der Bogen *age* der Kreuzgrat sein, so kann man unter Verwendung gleichen Halbmessers den Randbogen über *af'* als Knickbogen herstellen, oder man kann, um gleiche Scheitelhöhe zu erreichen, wie rechts gezeichnet ist, über der Seite *af* einen Flachbogen mit kleinerem Radius schlagen.

4. Die Gewölbe mit zusammengesetzten Rippensystemen.

Sechsteilige und achtteilige Gewölbe.

Das sechsteilige Gewölbe.

Im XII. und XIII. Jahrhundert findet sich in den normannischen und nordfranzösischen Werken sowie in Deutschland im Dom zu Limburg und andern Orts das System des sechsteiligen Gewölbes. Seine Entstehung hängt mit der ganzen Grundrissanlage zusammen (vergl. Fig. 15 III), es wurde mit der fortschreitenden Entwicklung der gotischen Kunst im allgemeinen wieder verlassen. Fig. 60 zeigt den Grundriss und Fig. 61 seine perspektivische Ansicht. Es bildet sich über dem Mittel- und Querschiff der Basilika und hat meist eine quadratische Grundform, die der Breite von zwei Seitenschiffjochen entspricht. Von dem gewöhnlichen Kreuzgewölbe unterscheidet es sich dadurch, dass zu den beiden Diagonalbogen *ab* und *cd* noch ein dritter Gratbogen *ef* hinzutritt, der seinen Aufstand auf den Zwischenpfeilern *e* und *f* findet. Letztere dienen daher jetzt nicht allein dem Seitenschiffe sondern auch zum Teil dem Mittelschiffgewölbe als Stütze. Die Längswände werden in je zwei Schildbogen zerlegt, wodurch das ganze Gewölbe sechs Kappendreiecke erhält. Die Kappenteile *cCb* und *aCd* sind gewöhnliche Kreuzgewölbekappen, während die vier seitlichen *dfC*, *bfC* usw. eine unsymmetrische Gestaltung erhalten, die man sich am besten vergegenwärtigt durch Antragen des Horizontalschnittes in einer gewissen Höhe (vgl. im Grundrisse die schraffierten Teile).

Die Aufrissentwicklung der Bogen ist in dem Grundrisse eingezeichnet. Die Kreuzbogen *ab* und *cd* sind der Regel nach Halbkreise, der Teilgrat über *ef* muss naturgemäss ein Bogen von derselben Scheitelhöhe sein. Für die sechs Randbogen steht es dagegen frei, sie entweder auf dieselbe Scheitelhöhe zu bringen (s. Fig. 62) oder ihre Spitze tiefer zu lassen (s. Fig. 61). Bei den ältesten Beispielen tritt noch zuweilen die Form des überhöhten Halbkreises auf, der aber sehr bald durch den gerade für diese Wölbform weit günstigeren Spitzbogen ersetzt wird. Die Kappenflächen können gerade oder busig sein, je nach den Anforderungen der Gestaltung oder Ausführung.

Die Figuren 62 bis 62c veranschaulichen die Aufrissentwicklung eines sechsteiligen Gewölbes mit aufgestelzten Schildbogen. Fig. 62 stellt den Längsschnitt dar, 62a und 62b zeigen Grundrisse in verschiedenen Höhen, während 62c die Bildung des Anfängers vom Teilgrate klar legt. In Folge der Aufstelzung der Schildbogen setzt sich unten hinter den Teilgrat eine senkrechte Wand, welche erst weiter oben in die Kappenwölbung übergeht. (Derartige senkrechte Wandstücke treten besonders oft auch an den Rippenanfängen der Chorpolygone und langgestreckten Rechtecke auf, aber auch bei verwickelten Wölbformen der Spätgotik, vgl. Fig. 86b, 266a, 267, 283 u. a.) Der Schub, welcher den Zwischenpfeilern beim sechsteiligen Gewölbe zufällt, ist offenbar ein weit geringerer, als der

auf die Hauptpfeiler wirkende (gewöhnlich nur etwa $^1/_3$ desselben). Es bedürfen daher die ersteren entweder nur einer geringeren Stärke, wie in dem Dom zu Limburg, der Kathedrale zu Laon, der Kirche zu Mantes, oder sie können, wenn dieselbe Pfeilerstärke durch den Gewölbeschub der Seitenschiffe sich bestimmt, der künstlichen Sicherung durch Strebebogen entbehren. Wo daher diese Voraussetzungen eintreten, wo entweder die Pfeiler schwächer oder Strebebogen schwierig anzubringen sind, da werden sechsteilige Gewölbe selbst bei sonstiger Durchführung der oblongen Kreuzgewölbe günstig sein.

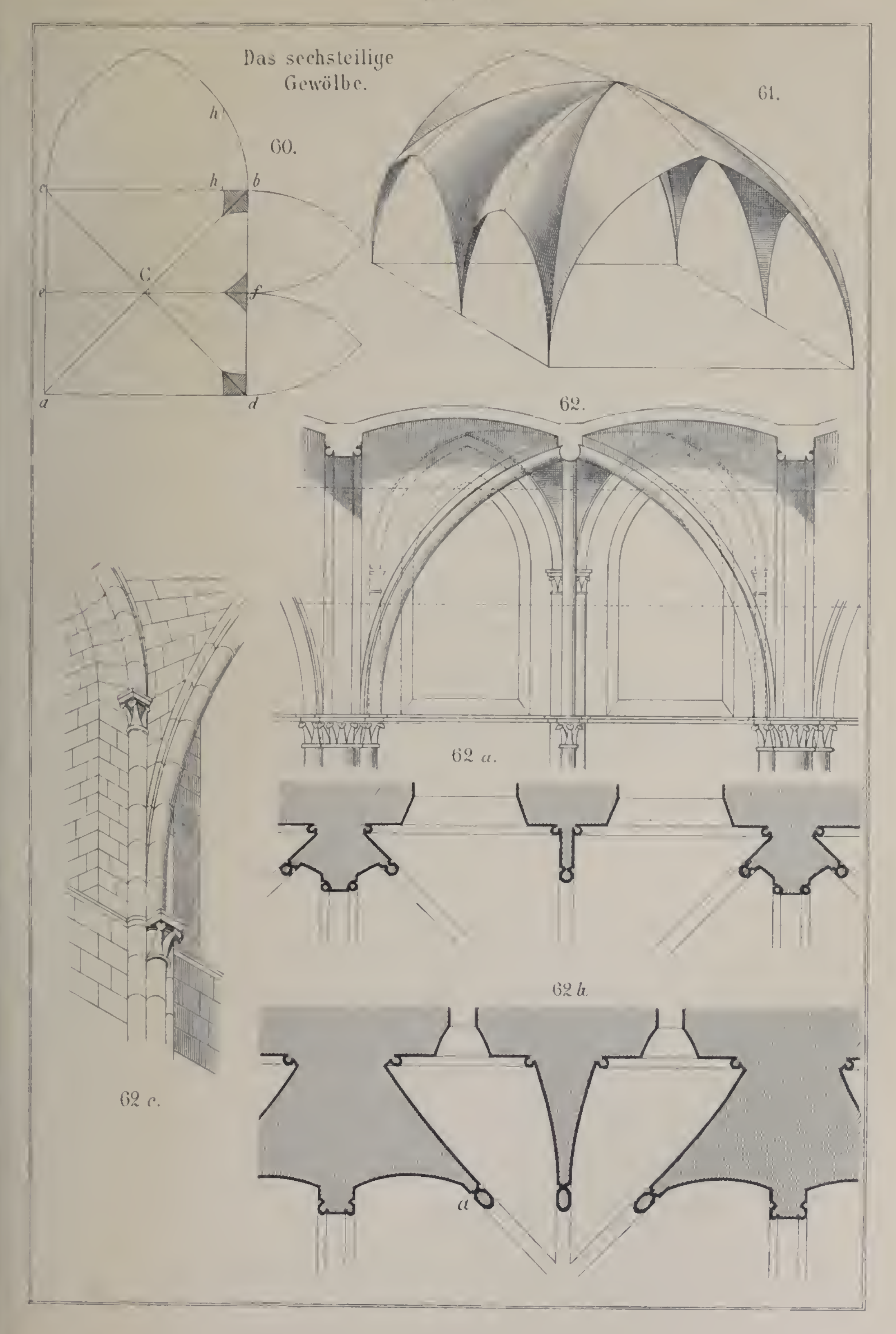
Derartigen Verhältnissen begegnen wir z. B. bei der Anlage der Kreuzschiffe. Es sei Fig. 63 der Grundriss eines solchen bei niedrigen Seitenschiffen und oblongen Kreuzgewölben über dem Mittelschiffe. Dem Schub der Gewölbe des mittleren Quadrates auf den Kreuzpfeiler *b* wirken die Obermauern des Quer- und Mittelschiffes entgegen und dem der Mittelschiffsgewölbe auf die Schiffspfeiler *a* die von *a* nach *c* gespannten Strebebogen. Dagegen steht dem auf den Punkt *d* wirkenden Schube in der Richtung *d c* keine genügend hohe Mauer entgegen, ebensowenig kann in *d* ein Strebepfeiler angelegt werden, wenn nicht das Fenster *c d* wegfallen soll, und schliesslich würde ein von *d* nach *c* etwa möglicher Strebebogen den Strebepfeiler bei *c* von der Seite treffen, also umkanten. Es liegt daher am nächsten, den Gewölbeschub auf *d* zu verringern und das geschieht eben durch die über *e i b b* angegebene Anlage eines sechsteiligen Kreuzgewölbes statt zweier rechteckiger, wie es sich in den Kathedralen von Paris und Beauvais findet. Möglich, dass an dieser Stelle der erste Antrieb zur Entwicklung des sechsteiligen Gewölbes zu suchen ist.

Auch aus gewissen Choranlagen, deren Untersuchung wir daher hier vorgreifen müssen, ergeben sich verwandte Anordnungen. Schliesst das Chorhaupt genau mit einem Polygone, z. B. mit fünf Seiten des Zehneckes (in Fig. 64 und 66), so liegt der natürliche Anfallspunkt der Rippen in der Mitte der Grundlinie des Polygons, also in *c*. Dem hier wirkenden Seitenschube dieser Rippen würde sich aber ein ungenügender Widerstand entgegensetzen, wenn das anstossende vierseitige Gewölbejoch als oblonges Kreuzgewölbe sich bildet. Es muss daher dieses System verlassen und der Schwäche des Punktes *c* Hülfe geleistet werden, und das geschieht, wenn die Rippen von *d* und *e* nach *c* anstatt in der Diagonalrichtung geführt werden, mithin das Joch *a b e d* die Gestalt der Hälfte eines sechsteiligen Kreuzgewölbes erhält, während das nächstfolgende mit einem gewöhnlichen Kreuzgewölbe überspannt wird. Derartige Anlagen finden sich häufig, u. a. in der Elisabethkirche zu Marburg und der Stiftskirche in Wetter.

Das achtteilige Gewölbe.

Ebenso wie die Anlage der sechsteiligen Kreuzgewölbe auf der Einschaltung je einer Stütze in zwei Seiten des Quadrates beruht, so ergiebt sich beim Einfügen einer Stütze in jeder Quadratseite das achtteilige Kreuzgewölbe, in welchem also auch die Kappen *c C b*, *a C d* (Fig. 60) halbiert sind. Eine derartige Pfeilerstellung kommt vor, wo die Westtürme mit der Anlage von fünf Schiffen in der Weise verbunden sind, dass eine Turmbreite derjenigen der beiden Seitenschiffe zusammengenommen gleichkommt. Wenn dann freilich wie in Köln der untere Raum geteilt ist und ausser dem Eingange noch eine Kapelle in sich fasst, so ergiebt sich ein neunter Pfeiler inmitten des Quadrates und ein Gewölbegrundriss von vier gleichen Jochen. Wo aber der innere Raum der Türme vollständig mit dem Inneren der Kirche vereinigt ist, wie an der Kathedrale von Paris, da ist der Mittelpfeiler überflüssig, und es ergiebt sich das achtteilige Kreuzgewölbe. Ein eigenes Beispiel dieser Art befindet sich in dem Zentralturme der Kirche St. Maclou in Rouen, dessen Gewölbe um zwei Stockwerke über dem Gewölbe des Mittelschiffes erhöht ist, so dass man von der Kirche aus den Einblick in das Innere des Turmes hat. Die Schildbogen sind nicht überhöht, bleiben daher mit ihren

Tafel VIII.





Scheiteln weit unter dem der Kreuzrippen. Von den acht Schildbogenscheiteln sind zum Schlusssteine hier steigende Scheitelrippen gespannt, so dass sich für das ganze Gewölbe der in der rechten Hälfte der Fig. 65 angegebene Grundriss ergiebt.

Stern- und Netzgewölbe.

Verkleinerung der Kappen.

Die Anlage des achtteiligen Gewölbes führt eine Verkleinerung der Kappenfelder mit sich, da sie an Stelle von vier grossen Kappen acht kleinere setzt. Dabei ist aber eine Verkleinerung der Kappen nur durch Vermehrung der Stützen erreicht; sie lässt sich auch ohne eine solche durch Einschalten neuer Rippen erzielen nnd führt dann zu verschiedenartigen reicheren Gestaltungen, unter denen besonders die Stern- und Netzgewölbe hervortreten.

Die Einschränkung der Kappengrösse muss als ein natürliches Ergebnis des einmal angebahnten gotischen Prinzipes angesehen werden. Sobald man die Rippen als „tragende Körper“ den Kappen als den „getragenen leichten Füllflächen“ gegenüberstellte, war es ein nahe liegender Schritt, das tragende Geripp zu vervielfältigen, um die Füllflächen bequemer einwölben und an Masse leichter machen zu können. Die Freude an der gefälligen Linienführung wirkte mit, die Musterung immer reicher zu gestalten, bis man am Schlusse des Mittelalters auf spielende Ausartungen verfiel.

Ist demnach die Vermehrung der Rippen als ein von vornherein vorgezeichneter Entwicklungsgang anzusehen, so haben doch bestimmte Anlässe dazu beigetragen, dieselbe anzuregen.

Im Grundrisse Fig. 66 mit rechteckigen Mittelschiffjochen ist ein beim sechsteiligen Gewölbe (Fig. 64) erwähnter Chorschluss zur Verwendung gekommen. Es zeigt sich, dass der Kappenteil *d c e* grösser ist als alle benachbarten, daraus ergiebt sich ein nicht recht befriedigendes Aussehen, die Wölbschichten dieser Kappe verlängern sich ungünstig, und wenn sie gebaucht ist, wird eine grössere Pfeilhöhe des den Busen bildenden Segmentbogens nötig. Dieser Höhenverlust kann aber wegen der oberhalb des Gewölbes durchgehenden Balken unbequem werden. Überdies kann eine zu grosse Kappe eine Vergrösserung der Wölbdicke erforderlich machen. Das alles führt auf eine weitere Teilung etwa durch die beiden halben Kreuzrippen $d c'$ und $e c'$ und die dem Seitenschube derselben im Scheitel widerstehende Scheitelrippe $c' c$.

Dasselbe Verhältnis wiederholt sich hinsichtlich des Mittelquadrates. Werden hier alle vier Kappen in derselben Weise geteilt, so gelangt man zu dem Grundrisse des Sterngewölbes, wie es sich über den Mittelquadraten der Kathedrale zu Beauvais und vielen anderen findet.

Die Teilung der Kappen durch eine vermehrte Zahl der Rippen kann indes noch durch andere Rücksichten veranlasst werden. Es sei z. B. Fig. 67 der Grundriss eines Turmgewölbes, in dessen Mitte eine weite runde Öffnung bleiben soll, um die Glocken oder selbst etwaiges zu Reparaturen erforderliches Baumaterial aufziehen zu können. Diese Öffnung wird eingeschlossen von einem wagerecht liegenden Kranze, der von den Rippen getragen wird. Besteht der Ring nur aus vier Werkstücken *a b*, *b e* usw., so genügen zu ihrer Unterstützung die Kreuzrippen, wird die Öffnung aber so gross, dass der Kranz mehr — etwa acht — Werksteine erfordert, so empfiehlt es sich, auch die Zahl der Stützpunkte entsprechend zu vermehren. Es kann dies beim steigenden Gewölbe durch Scheitelrippen *k a* usw. erzielt werden, sonst führt das Einschalten der Rippen *h b*, *h e* zum Ziele.

Sterngewölbe.

Vorstehende und noch viele andere Bedingnisse führen auf Rippengewölbe der mannigfaltigsten Art. Unter allen nehmen den hervorragendsten Platz die Sterngewölbe ein. Die klarste und einfachste Form eines solchen zeigt das

Vierungsfeld der Fig. 66. Es ist dadurch entstanden, dass in jedes Kappendreieck eines gewöhnlichen Kreuzgewölbes je drei winkelteilende Rippen eingelegt sind, die sich im Mittelpunkte vereinigen. Wird diese Kappenteilung auf reichere Arten des Kreuzgewölbes angewendet, so erzeugen sich entsprechend reichere Gestaltungen. Das achtteilige Gewölbe liefert in dieser Weise die in Fig. 68 dargestellte Form, welcher zum Vergleiche die aus dem achteckigen Gewölbe entsprungene Sternbildung (Fig. 69) gegenübergestellt ist. Sie unterscheiden sich voneinander nur dadurch, dass bei ersterem die acht Stützpunkte über einem Vierecke, bei letzterem über dem Achtecke angeordnet sind. Räume mit regelmässig polygonalem Grundrisse führen auf besonders schöne Sternformen, die sich in entsprechender Gestalt auf den vielseitig gebildeten Chorschluss übertragen.

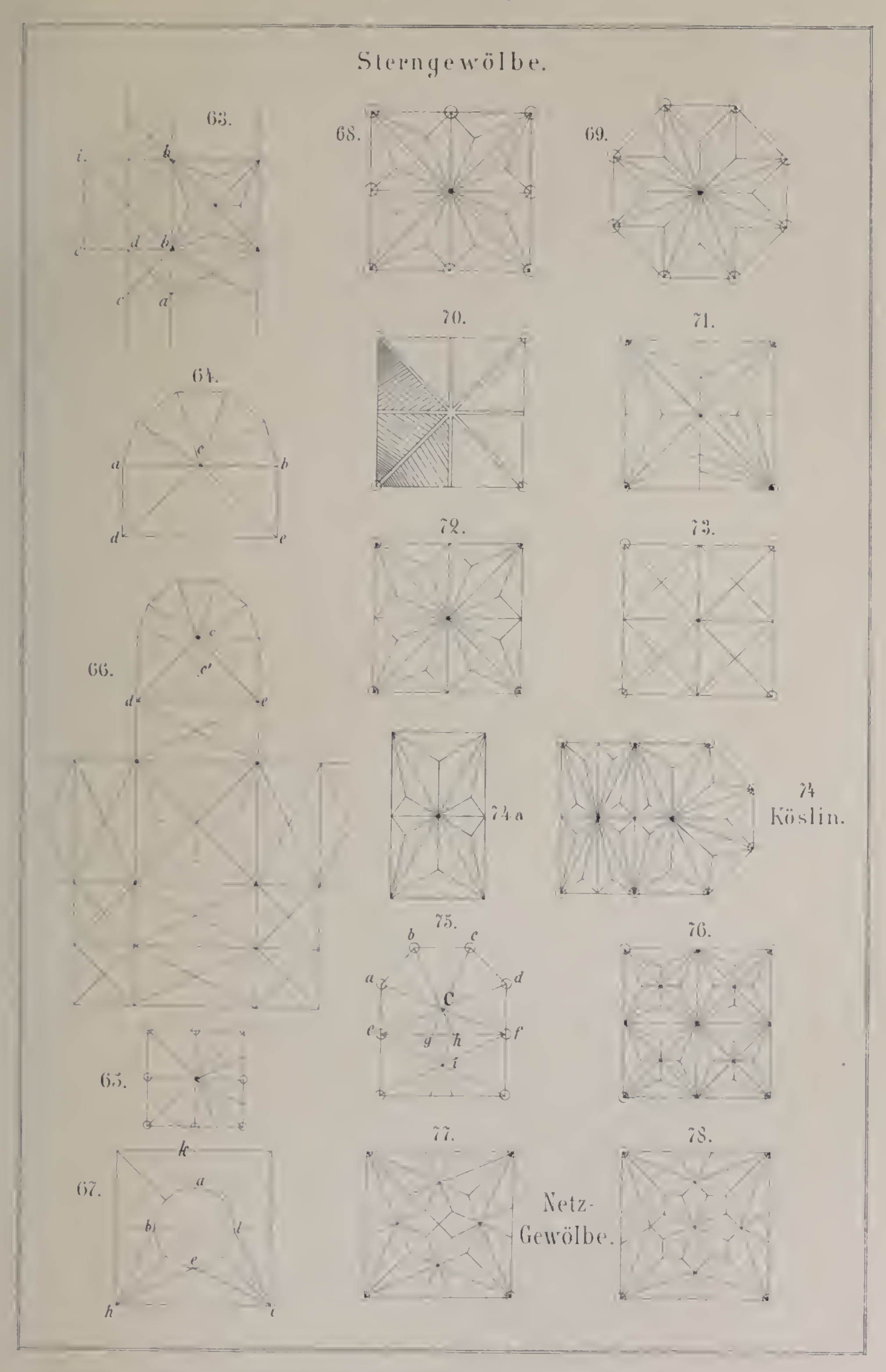
Über oblongen Gewölbejochen lassen sich ebensowohl Sterngewölbe anlegen, wie über quadratischen, sie erhalten nur eine verschobene Form, die indes in der Wirklichkeit durch die Krümmung der Bogen bei weitem weniger auffällig wirkt als im Grundrisse.

Natürlich lässt sich auch über ganz unregelmässigen Grundrissformen das Kreuzgewölbe in ein Sterngewölbe umwandeln.

Eine etwas abweichende Gestaltung zeigt das Sterngewölbe, welches aus dem Kreuzgewölbe mit vorspringenden Scheitelrippen (Fig. 70) erwächst. Die Scheitel- oder Firstrippen, deren Entstehung auf die Technik des Einwölbens zurückzuführen ist, finden sich sehr früh bei den normannischen und englischen Wölbungen, kommen aber auch bereits früh in Deutschland vor, wie die Kirchen zu Osnabrück und Münster beweisen. Sie verbinden die Scheitel der Randbogen mit dem Schlusssteine und sind in der Regel nach letzterem ansteigend und als Segmentbogen gestaltet. Teilt die Scheitelrippe schon an sich die Wölbflächen, so begünstigt sie auch in hohem Masse eine Fortentwicklung der Teilung. Figur 71 zeigt ein Hinzutreten von Rippen, welche den Scheitelbogen in der Mitte stützen, was bei dessen meist flacher Form sehr erwünscht war. Es ergiebt sich auf diese Art eine sehr verbreitete Sternform, die beispielsweise für die Vierung der Kathedrale zu Amiens Verwendung gefunden hat. Die Zahl der Teilrippen kann vermehrt werden nach Art des unten rechts liegenden Teiles der Fig. 71. Die englische Gotik liebt diese Form. Ebenso oft tritt die Anordnung 72 auf, die unter anderen der Dom zu Schwerin und die Kirchen zu Köslin (Fig. 74) aufweisen, oder die nur einseitige Zwischenteilung (Fig. 74a, Dirschau usw.), seltener dagegen ist die der Westminsterabtei zu London entnommene Gestaltung 73.

Das Anstossen der Chorpolygone an die rechtwinkeligen Gewölbejoche führt noch auf weitere abweichende Teilungen, wie z. B. Fig. 75 zeigt. Hier spannen sich die Chorrippen *a C* und *d C* den in derselben Richtung gehenden *e C* und *f C* entgegen. Soll nun für die Rippen *b C* und *c C* ein entsprechender Widerstand geschaffen werden, so ergeben sich die Rippenstücke *C g* und *C h*, die sich vom Scheitel des Chorgewölbes an die Seite der Gurtrippe *ef* spannen und daher, um die letztere nicht seitwärts zu schieben, die Anlage der Rippen *g i*, *h i* und somit die Fortführung derselben Bewegung durch die ganze Länge des Joches zu fordern scheinen. Wir sagen mit Absicht „scheinen", denn ein sehr dringendes konstruktives Bedürfnis liegt nicht zu Grunde, der Schub der Rippen *e C* und *f C* und des von ihnen begrenzten Kappenteiles kann genügen, um dem des Polygongewölbes zu widerstehen; es ergiebt sich überhaupt kein weiterer Vorteil aus der ganzen Anlage als der einer Verkleinerung der Kappen und wir werden allmählich

Tafel IX.


Sterngewölbe.
63.
68.
69.
70.
71.
64.
72.
73.
66.
74 a
74
Köslin.
75.
76.
65.
67.
77.
78.
Netz-
Gewölbe.



zu dem Punkte hinübergeleitet, wo die dekorative Konstruktion in eine konstruktive Dekoration übergeht. Nicht wollen wir damit einen Tadel aussprechen, aber es ist unverkennbar, dass reichere Gestaltungen, wie sie in Fig. 76, 77, 78 dargestellt sind, mehr dem Streben nach grösserer Pracht, als einem konstruktiven Antriebe ihre Entstehung verdanken.

Zwei dieser Beispiele zeigen bereits eine Unterbrechung der Kreuzrippen und bilden damit einen Übergang zu der nunmehr zu besprechenden Klasse von Gewölben. Überhaupt ist der Reichtum dieser Gestaltungen im Grundrisse der grössten Steigerung und Veränderung fähig.

Netz-gewölbe.

Noch viel mannigfaltiger als die Sternformen sind die unter dem Namen Netzgewölbe zusammengefassten Bildungen. Als Sterngewölbe bezeichnet man alle bisher betrachteten Gewölbegrundrisse soweit sie noch auf dem des einfachen Kreuzgewölbes beruhen. In ihnen wurde das quadratische oder rechteckige Joch zuerst durch Kreuzrippen geteilt und jedes der so gebildeten Felder durch Zwischenrippen in eine grössere oder kleinere Anzahl von Unterabteilungen zerlegt. So ergab sich z. B. der Grundriss des einfachen Sterngewölbes dadurch, dass ein jedes der durch die Kreuzrippen eingeschlossenen Gewölbedreiecke nach Art der dreiseitigen Gewölbe geteilt wurde. Erst in den reicheren daraus entwickelten Gestaltungen, wie Fig. 77 und 78, zeigt sich die Kreuzrippe unterbrochen oder vielmehr in zwei Rippen geteilt, d. h. es ist die Richtung der Hauptkraft in die der beiden Nebenkräfte aufgelöst. Die weitere Ausführung dieses Systemes, der Ersatz also der resultierenden durch die seitlichen Kräfte und umgekehrt, bildet nun das Thema, welches in den zusammengesetzteren Grundrissen variiert ist, und welches nebst einer Vermehrung der Durchkreuzungen diese reicheren Gestaltungen ermöglicht. So kann man in dem Grundrisse des einfachen Sterngewölbes die Kreuzrippe durch die anderen Rippen ersetzt denken, mithin weglassen und so zu dem in Fig. 79 angegebenen Grundrisse gelangen, der sich hiernach wieder als Vereinfachung des Sterngewölbes darstellt. Er zeigt das Netzgewölbe in einfachster Form.

Es wäre Unrecht, die Entstehung des Netzgewölbes nur auf eine willkürliche Formenbereicherung zurückführen zu wollen. Welche berechtigten Gründe auf dasselbe hinleiten können, zeigt die Betrachtung eines langgestreckten rechteckigen Wölbfeldes. Bei demselben ergeben sich am Gewölbanfange sehr verschieden grosse Winkel zwischen den Rippen (vergl. Fig. 80). Daraus entsteht aber neben dem ungünstigen Aussehen der Nachteil, dass die Gliederungen sehr unregelmässig ineinander schneiden, und dass die Rippen wegen der verschiedenen Kappenformen leicht von der einen Seite grösseren Schub bekommen als von der anderen. Gleiche Winkelgrösse der Zwickel ist aus diesen Gründen für jedes Rippengewölbe von Vorteil. Zieht man aber über einem rechteckigen Felde die Rippen nicht in der Diagonale sondern in der Richtung der Winkelhalbierenden, so entsteht statt des einfachen Kreuzgewölbes das in Fig. 81 dargestellte Netzgewölbe. Diese Rippenanordnung ermöglicht gleichzeitig einen geschickten Anschluss des Chorgewölbes, der in der skizzierten Weise mehrfach ausgeführt ist z. B. in der Kirche zu Notteln in Westfalen.

Welche freie Gestaltungen die Netzgewölbe annehmen können, zeigen die in Fig. 82 und 83 dargestellten Beispiele von der Marienkirche zu Danzig und dem Dome zu Kaschau. Es sind hier ansprechende geometrische Muster gebildet, an deren Stelle in der Spätzeit oft ein wirres Liniengewebe tritt.

Alle diese Formen zeigen nur eine Durchbrechung der Diagonalbogen, die Gurte sind beibehalten. Wenn letztere beseitigt werden, so tritt der Charakter des Netzgewölbes noch entschiedener hervor.

Untersuchen wir nun die Bedeutung der Gurtbogen, welche die Teilung in die verschiedenen Joche bewirken. In den Werken der älteren Periode waren sie wirklich konstruktiv, unter anderen durch die starke Überhöhung oder die Strebebogen bedingt (wie unter dem diese letzteren behandelnden Abschnitte in der Folge gezeigt werden wird). Demgemäss erhielten sie eine grössere Stärke und kräftigere Gliederung als die Kreuzrippen. Für die Ausführung des Gewölbes selbst aber war diese Vergrösserung häufig unnütz und wurde daher schon im XIII. Jahrhundert in vielen Fällen aufgegeben. Die Gurte erhielten dann eine den Kreuzrippen gleiche Gestalt und Grösse, und es gelangte so ihr wirkliches von dem der Kreuzrippen nicht wesentlich abweichendes Verhältnis zum Gewölbe zum vollkommenen Ausdruck. Hiernach aber war es nur noch zufällig, dass sie ihre alte Richtung behielten, sie konnten wie die Kreuzbogen durch die Seiten einer Raute ersetzt werden. Dadurch gelangte man zu dem Grundrisse des langgestreckten Netzgewölbes (Fig. 84, 85, 86).

Tonnenartige Netzgewölbe.

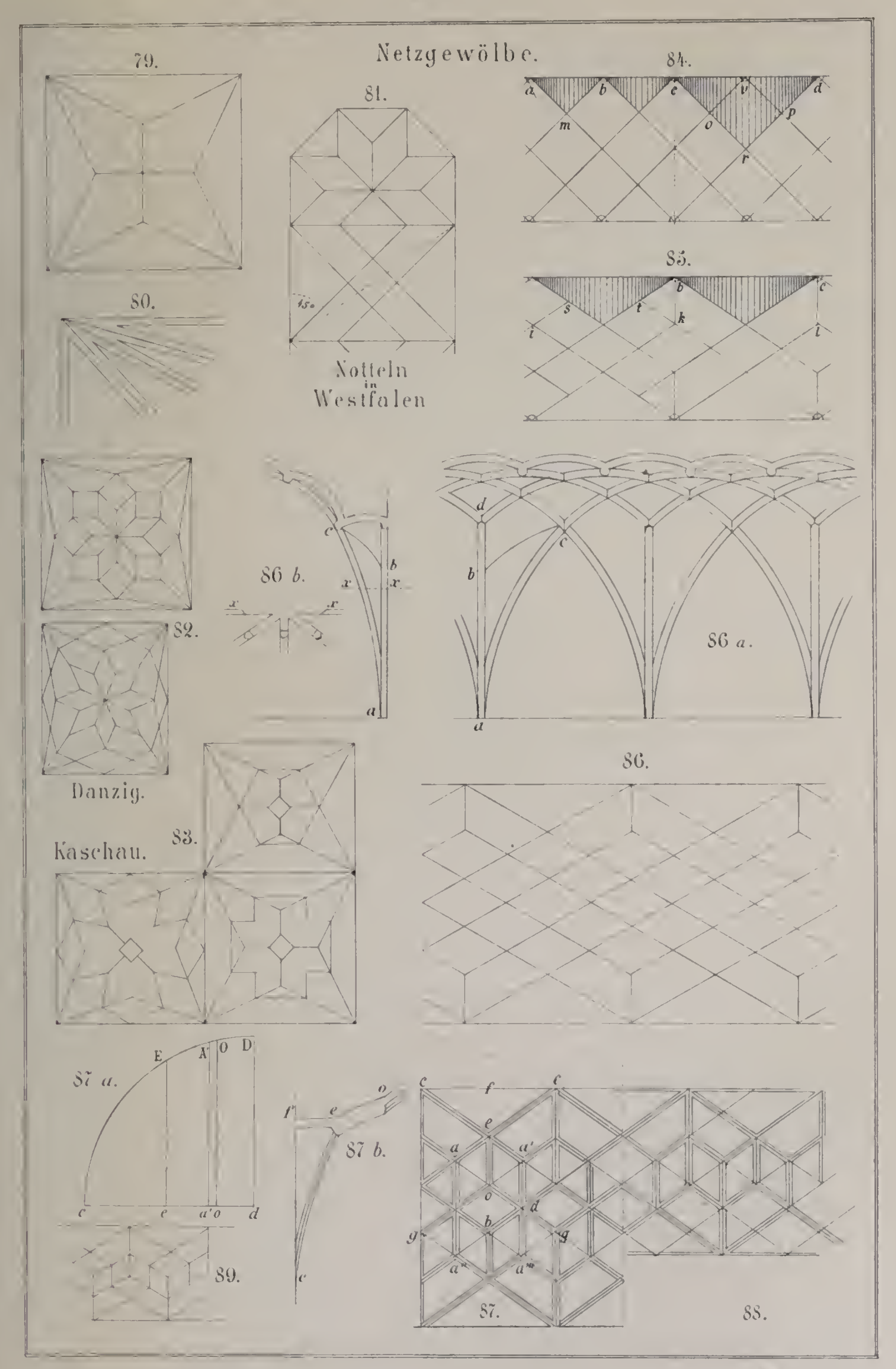
Das bestimmende Merkmal dieses letzteren ist daher darin zu suchen, dass sowohl die Kreuzrippen wie die Gurtrippen verschwinden, dass somit die Einteilung in Joche aufhört und die nunmehr durchweg gleichen Rippen zwar von Pfeilern oder einzelnen Stützpunkten der Wand ausgehen, aber, ohne diese in dem ganzem Schema zur Geltung zu bringen, sich in den verschiedenartigsten Führungen über der Grundfläche verweben.

Besonders entschieden gelangt dieser Charakter zum Ausdruck in dem in Fig. 86 dargestellten, an vielen Orten, z. B. im Chor zu Freiburg i. B., in der katholischen Kirche in Marburg usw., mit gewissen Abweichungen hinsichtlich der Zahl der Teilungen und der Anlage des Rippenanfangs wiederkehrenden Gewölbegrundrisse.

Im Aufrisse haben diese Gewölbe meist eine dem Tonnengewölbe ähnliche Form nur die an der Wand liegenden (in den Fig. 84 und 85 schraffierten) Kappendreiecke sind in Form von Stichkappen unabhängig eingeschnitten. Die ganze Wölbfläche ist mit rautenartigen Feldern überzogen, die als Maschen bezeichnet werden. Je nach der Zahl der in der Wölbbreite nebeneinander gereihten Felder, unterscheidet man ein-, zwei-, dreimaschige Netzgewölbe usf.

Wenn der Abstand der Stützpunkte nur einer Maschenlänge entspricht (Fig. 84 linke Hälfte), so bilden die Rippen ein regelmässig gebogenes Netz, in das sich die seitlichen Dreiecke *a b m* usw. als Stichkappen einschneiden. Wird dagegen die Entfernung der Stützpunkte grösser, z. B. gleich zwei Maschenlängen, wie in der rechten Hälfte der Figur, so wächst entsprechend auch die Grösse der Stichkappe *c d r*. Die Rippenstückchen *o v* und *p v* können über die Stichkappe fortgeführt werden, sie bilden dann bei *o* und *p* einen Knick, um sich bis zu dem Scheitel *v* zu erheben. Meist werden sie fortgelassen, wie in der linken Hälfte der Fig. 85. Man ging sogar in der Regel noch weiter, indem man auch die Stücke *i s* und *t k* beseitigte, dafür aber die quergerichteten Rippenstücke *b k*, *c l* usw. einfügte. (Siehe rechte Hälfte der Fig. 85.) So ergiebt sich eine Anordnung, die besonders häufig vorkommt, und welche die Figuren 86—86b in Grundriss und Aufriss darstellen.

Tafel X.



Netzgewölbe.
79.
80.
81.
Notteln in Westfalen
84.
85.
82.
Danzig.
83.
Kaschau.
86 b.
86 a.
86.
87 a.
87 b.
87.
88.
89.



Es liegen bei diesem Gewölbe meist alle Rippenpunkte, die in denselben Längsschnitt fallen auf einer Horizontalen, gerade so wie bei einem Tonnengewölbe. Dennoch bleibt zwischen ihm und dem Tonnengewölbe der prinzipielle Unterschied bestehen, dass erstens die Kappen auf die Rippen gewölbt, also von diesen getragen werden, dass zweitens die Kappen eine selbständige von der Tonnenfläche beliebig abweichende Busung haben können und dass drittens die Aufrissform nicht für den Querschnitt des Gewölbes festgelegt wird, sondern für eine schräglaufende Rippe.

Zur Bestimmung der Aufrissgestaltung wählt man eine möglichst lang durchlaufende Rippe aus und giebt ihr die jeweilig beabsichtigte Form eines Spitzbogens, Rundbogens oder gedrückten Bogens. Diesem Bogen, der den Namen Prinzipalbogen trägt, entsprechend werden alle weiteren Rippenstücke gestaltet. Näheres darüber im folgenden Kapitel (S. 63 u. f.).

Ist der Prinzipalbogen ein Halbkreis, so wird der Querschnitt des Netzgewölbes eine aufrechtstehende halbe Ellipse. Es ist demnach jene häufig betonte Übereinstimmung mit dem Tonnengewölbe nur in einer äusserlichen und zufälligen Ähnlichkeit begründet, welche völlig verschwindet, sobald der Grundriss der Rippenführungen nach den oben angedeuteten Prinzipien die geringste Änderung erfährt.

Im Grundrisse 87 z. B. sind die Schrägrippen stellenweise unterbrochen und durch quergerichtete Rippenstückchen ersetzt. Da keine durchlaufende Rippe vorhanden ist, pflegt man in solchen Fällen wohl den Prinzipalbogen für einen gebrochenen Rippenzug anzunehmen. D. h. man legt, wie in Fig. 87a gezeigt ist, die Grundrisslängen des Rippenzuges $c\,e\,a'\,d$ aneinander und schlägt über der so addierten Länge den Prinzipalbogen, der beispielsweise ein Viertelkreis sei. Die in den Punkten e und a' errichteten Lote bestimmen in E und A' die Höhenlage der Kreuzpunkte, während die Bogenstücke $c\,E$, $E\,A'$ und $A'\,D$ die wirkliche Form und Länge der entsprechenden Rippenstücke zeigen. Ein beliebiges anderes Rippenstück, z. B. $d\,o$ im Grundrisse, bestimmt sich in der gleichen Weise dadurch, dass man seine Grundrisslänge $d\,o$ an entsprechender Stelle auf die Grundlinie des Prinzipalbogens trägt. Die in den Endpunkten errichteten Lote schneiden auch hier wieder ein Stück $O\,D$ des Prinzipalbogens ab, das die wirkliche Gestalt des Rippenstückes angiebt. Wird in dieser Weise das Gewölbe nach einem Prinzipalbogen über gebrochenem Rippenzuge bestimmt, so weicht seine Form sowohl im Längsschnitte als im Querschnitte vom Tonnengewölbe ab. Die Form des Querschnittes zeigt Fig. 87b.

Über die Vorzüge und Mängel derartiger Konstruktionen nach dem Prinzipalbogen siehe das folgende Kapitel S. 67.

Aus den Grundrissen von Fig. 86 und 87 können dann durch Vereinfachung wie durch reichere Zusammensetzung, durch Veränderung der Pfeilerstellung, der Richtung der Rippen, durch fortgesetzte Anwendung des oben erörterten Systems der Auflösung der Diagonale in die Seiten oder umgekehrt der Vereinigung der Seiten zu der Diagonale alle irgend möglichen Gestaltungen entwickelt werden.

So kann in Fig. 86 die Zahl der Maschen seitlich vermindert oder beliebig vermehrt werden. Aus Fig. 87 lassen sich Bildungen wie Fig. 88 und 89 ableiten. Die Abwandlung immer neuer Netzformen kann überhaupt ins Unbegrenzte fortgesetzt werden.

Versetzte Stützpunkte.

Bei den beiden zuletzt mitgeteilten Grundrissen Fig. 88 und 89 liegen die Stützpunkte des Gewölbes nicht mehr einander gegenüber, sie sind vielmehr zueinander versetzt. Derartige Gestaltungen finden sich schon in manchen romanischen Werken und mehren sich in den gotischen aller Perioden.

Eine noch auf dem Kreuzgewölbe beruhende Anordnung findet sich in den Seitenschiffen der dem XII. Jahrhundert angehörigen Barfüsserkirche in Erfurt. Der Grundriss Fig. 90

erweckt zunächst den Eindruck zweier Kreuzgewölbe, der Aufriss weicht jedoch stark davon ab, da nur an der Aussenwand die 3 Stützpunkte *cge* vorhanden sind, nach dem Mittelschiffe zu aber der Stützpunkt *d* fehlt. Es ist *d* vielmehr der hochliegende Scheitelpunkt des vom Schiffspfeiler *a* zum Schiffspfeiler *b* führenden Scheidebogens. Über dem Scheitel dieses letzteren legen sich die beiden Diagonalbogen *cd* und *de* als Quadranten an und bestimmen sonach sowohl die Höhen der Punkte *f*, wie die Gestalt der Diagonalbogen *ag* und *bg*, deren Hälften den Stücken *ef* und *cf* entsprechen, die also Spitzbogen sind. Von *g* aus spannt sich dann der Gurtbogen *gd* als halber aufgestelzter Spitzbogen nach dem Scheitel der Scheidebogen. Eine perspektivische Ansicht zeigt die Fig. 90a.

Ähnliche Pfeilerstellungen finden sich aus dem XIV. Jahrhundert in der Kreuzkirche zu Breslau und aus dem XV. Jahrh. in St. Stephan zu Wien. In ersterer ist die Auflösung bewirkt mittelst Teilung des Seitenschiffgewölbes in drei dreiseitige Joche Fig. 91 und in letzterer durch die eigentümliche Gestaltung des Netzgewölbes. Es eignen sich auch gerade die letzteren Gewölbe zur Auflösung aller Unregelmässigkeiten.

Sowie in allen diesen Fällen jedem inneren Pfeiler noch ein äusserer gegenüberstand und nur die Zahl der letzteren sich verdoppelte, so kann aber auch bei gleicher Zahl die Gegenüberstellung aufhören oder das Verhältnis der Stützpunkte in den verschiedenen Reihen nicht mehr 1 : 2, sondern etwa 2 : 3 oder ein sonst beliebiges werden.

Beispiele der Verlegung der Stützpunkte bei gleicher Zahl haben wir in Fig. 88 und 89 entwickelt. In letzterer Figur liegt immer der Stützpunkt an der einen Seite der Bogenmitte der anderen Reihe gegenüber, in ersterer findet eine minder regelmässige Beziehung statt.

Das Verhältnis der Stützpunkte in beiden Reihen wie 2 : 3 findet sich in dem östlichen Flügel des Kreuzganges vom Meissner Dom, dessen Grundrissanordnung die Fig. 92 zeigt.

Die Scheitelpunkte sind hier *a, b, c, d, e, f*; die erzeugenden Bogen *gb*, *bh*, *mc*, *ma*, sowie alle von *n* ausgehenden. Der Punkt *k* liegt ebensoweit von dem Scheitel *b* wie der Punkt *l* von dem Scheitel *a*. An der südöstlichen Ecke ist dann, wie aus unserer Figur ersichtlich, ein Übergang in einen vereinfachten Grundriss dargestellt.

Bildungen der Spätzeit.

In der späteren Zeit wurden den Rippen verschiedenartige Bereicherungen zugefügt, sie wurden doppelt übereinander gesetzt, mit masswerkartigen Durchbrechungen versehen usf. Den ersten Anlass zu diesen Bildungen gaben senkrecht über den Rippen aufsteigende Wandzwickel.

Schon in romanischer Zeit führt der unregelmässige Zusammenschnitt von Wölbflächen auf solche Lösungen. Wenn z. B. das rechteckige Feld *abcd* in Fig. 93 an der Langseite mit einem Halbkreise, an der kurzen Seite mit einem „überhöhten“ Halbkreise überspannt ist, so wird sich im Aufrisse über dem Gurtbogenzwickel die dreieckige Wand *mno* erheben. Überhöhte oder gestelzte Bogen führen überhaupt leicht zu dieser Bildung, die sich besonders oft bei polygonalen Chorschlüssen, häufig auch bei sechsteiligen Gewölben findet (vergl. Fig. 62c). Die späteren reichen Netzgewölbe bieten noch mehr Anlass zu derartigen Gestaltungen. So kommt es vor, dass bei dem in Fig. 86a dargestellten Netzgewölbe „nur die Rippen“ bis zu dem tief liegenden Stützpunkte *a* herabgehen; auf ihren Rücken

wird eine senkrechte Wand hochgeführt, gegen welche die Kappenflächen erst weiter oben in der Höhe *bc* angesetzt werden. Es bildet sich sodann über jeder Rippe ein senkrechtes Wandstück *abc* usw., wie es Fig. 86b im Schnitte und Grundrisse zeigt. Es liegt nahe, dieses Wandstück zu durchbrechen, beziehungsweise dasselbe in Masswerkformen aufzulösen.

Durchbrochene Zwickel über den Rippen.

Ein sehr reiches Beispiel einer derartigen Gewölbeanlage zeigt der Kreuzgang von St. Stephan in Mainz, von dessen südöstlicher Ecke Fig. 95 eine Skizze giebt, zu welcher Fig. 94 den Grundriss darstellt. Da die Ecke in den Raum einspringend ist, vereinigen sich an ihr eine grosse Zahl von Rippen.

Der jedesmalige Zusammenschnitt von Unter- und Oberrippe muss natürlich aus einem Werkstücke gearbeitet sein, welches Fig. 95b in Perspektive darstellt. Auch der Anschluss der Oberrippen an den senkrecht herabgeführten Dienst besteht aus einem Stücke, welches, wie der Grundriss Fig. 95c klarlegt, ziemlich grosse Abmessungen bekommt. Der in der Richtung einer Rippe angenommene Querschnitt Fig. 95a zeigt, dass die Masse *abc* fortgearbeitet werden muss, was die Ausbildung einer Nase an dieser Stelle begünstigt. Wird die Nase an dem darunter liegenden Werkstücke wiederholt, so ergiebt sich eine masswerkartige Ausbildung der Durchbrechung. Bei grösseren Verhältnissen wird natürlich das Masswerk bereichert und zur gegenseitigen Verstrebung der Unter- und Oberrippe benutzt werden können.

Das System, auf welchem die ganze Gestaltung beruht, die Durchbrechung einer auf den Rippen aufgeführten Wand, findet sich indes, wenn schon in abweichender Ausführung, an manchen früheren Werken vor. Wir meinen jene Steinplattendecken, welche z. B. in dem Turme des Freiburger Münsters über dem unteren Saale des Turmachteckes und in ganz ähnlicher Weise über der Kapelle im nördlichen Flügel des Kreuzganges des Magdeburger Domes und der Vorhalle des Göttinger Rathauses vorkommen. Sie unterscheiden sich von einem wirklichen Gewölbe nur dadurch, dass die nach einem flachen Bogen von Rippe zu Rippe gewölbten Schichten hier durch von Rippe zu Rippe gelegte Steinplatten ersetzt werden, die daher über dem Rücken der Rippe in einer Fuge zusammenstossen. Um den Platten ein wagerechtes Auflager zu bieten, muss oberhalb der Rippen eine tragende volle oder durchbrochene Wand errichtet werden, die, wie in Freiburg durch ein Pfosten- und Bogensystem (wie Fig. 96 in perspektivischer Ansicht zeigt) oder durch Masswerkformen gebildet sein kann wie in Göttingen und in Magdeburg.

Der einzige Unterschied zwischen der Konstruktion von Fig. 95 und Fig. 96 liegt darin, dass die Rippe *c* in ersterer Figur einen Bogen, in dieser aber eine Wagerechte bildet. Während also erstere nur noch einer Sicherung des Widerlagers bedarf, so wird für letztere eine fortlaufende Unterstützung nötig, welche wieder von der Rippe *c'* getragen werden muss. Wenn daher wie in Fig. 96 diese Unterstützung durch Pfosten oder Säulchen bewirkt wird, so müssen die Ansätze der letzteren an die Werkstücke, aus denen die Rippe *c'* besteht, angearbeitet sein. Der gleichmässigen Belastung wegen müssen diese Werkstücke möglichst so lang sein, dass ein jedes mindestens einen Pfosten aufzunehmen hat. Genaueren Aufschluss über die Belastung der Rippe giebt die für diesen Fall leicht zu konstruierende Stützlinie. Es muss daher jedes einzelne Rippenstück etwa die in Fig. 96a gezeigte Gestalt erhalten. In Freiburg freilich ist nur für die Hälfte der Pfostenbreite der Ansatz angearbeitet und die andere Hälfte in den Rücken der Rippe eingeschnitten, wodurch allerdings an Steinmaterial für die Rippe gespart wird.

Die Belastung der Rippe macht einen wesentlichen Vorzug der Konstruktion von Fig. 96 aus, indem dadurch die Rippe gegen ein seitliches Verschieben ge-

sichert wird. Das Fehlen dieser Sicherung in Fig. 95 zwingt bei grossen Abmessungen zur Anwendung künstlicher Auskunftsmittel, wie eiserner Klammern oder Dübbel, die der oben angeführte Mainzer Kreuzgang zeigt, macht also eine Schwäche dieser sonst noch völlig konstruktiven Anordnung aus. Stärker verleugnet sich aber der konstruktive Charakter in einzelnen Rippengestaltungen der Spätgotik, deren Entstehung allein in dem Gefallen an der bunten Wirkung solcher Durchbrechungen gesucht werden kann. An manchen Orten, unter anderen in St. Leonhard in Frankfurt finden sich zwei Rippen von ungleichen Radien untereinander (vgl. Fig. 97). Diese Anordnung kann konstruktiv berechtigt sein, wenn etwa die obere Rippe die Kappenlast aufnimmt und die untere zwei Kreuzpunkte verstrebt. Oft ist aber die untere Rippe eine unnütze Zuthat, die zuweilen nur durch eiserne Dübbel ihre Lage behaupten kann.

Doppelte Rippensysteme.

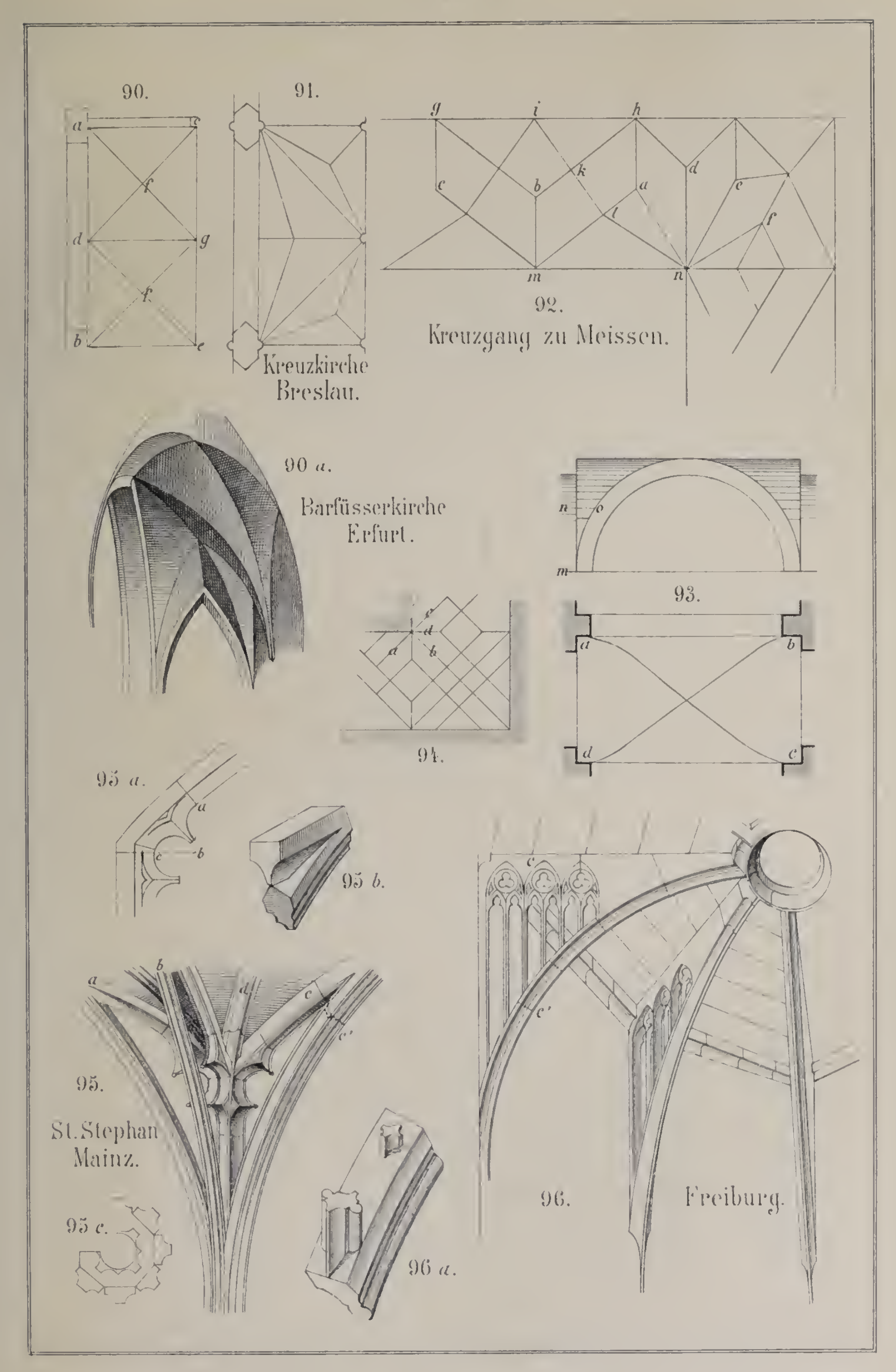
Das Streben nach reichen Formen spricht sich noch mehr in den gleichfalls dem Ende des XV. Jahrhunderts angehörigen doppelten Rippensystemen übereinander aus. Von denselben steht nur das obere in Beziehung zu den Kappen, während das untere, von den gleichen Diensten ausgehend, von dem oberen völlig getrennt ist und seine Verschränkungen nach einem völlig abweichenden Schema bildet, so dass die Oberkante der unteren Rippe unter der Unterkante der oberen hindurchstreicht. Ein Beispiel dieser Anordnung findet sich in der Kirche des Dorfes Langenstein bei Marburg (s. Fig. 98). Die Wirkung der beiden Systeme der einander durchkreuzenden Formen derselben, die noch gesteigert wird durch die von den unteren frei schwebenden Rippen nach oben auf die Kappenfläche geworfenen Schlagschatten, ist eine wahrhaft überraschende. Nicht minder überraschend ist aber die sinnreiche Grundrissanordnung, die überaus geschickte Verbindung der Entwicklung aus dem Vierecke oder Achtecke mit der aus dem Dreiecke oder Sechsecke. Es ist in dieser Hinsicht nicht ganz unfruchtbar, das Sonst mit dem Jetzt zu vergleichen. Es giebt wenig Handwerker oder selbst Baumeister, die im stande wären, heutigen Tages eine Anordnung zu ersinnen, welche der des schlichten Dorfmaurermeisters in Langenstein ebenbürtig wäre. Und es ist nicht die durch vielfache Kunstübung gewonnene Sicherheit der Ausführung, es ist in weit höherem Grade die Unmittelbarkeit der Erfindung, kurz der eigentliche Inhalt, welcher den Ruhm der alten Werke ausmacht.

Das erwähnte Gewölbe gehört erst der Spätzeit an, es leidet in erhöhtem Grade an der oben angeführten Schwäche, nämlich an der Notwendigkeit der eisernen Klammern für das untere System. Noch reichere Beispiele derselben Art finden sich in St. Willibrord in Oberwesel.

Schwebebogen und Nasen.

In der Spätzeit sind die Unterkanten der Gewölbebogen oft mit fortlaufenden Reihen kleiner herabhängender Schwebebogen besetzt. Es ist die nämliche Verzierungsweise, die sich schon weit früher an Portalbogen findet. Sie überträgt sich dann auf die Scheidebogen im Innern wie bei der noch romanischen Kirche S. Isidoro zu Leon in Spanien und später bei St. Jakob zu Lüttich, wo sie sogar in zwei parallelen Reihen angeordnet ist. Schliesslich macht sie sich auch an den Gurten und Rippen geltend. Bei letzteren finden sie sich entweder nur an den zunächst dem Schlusssteine befindlichen Teilen und hören nach unten auf, wie im

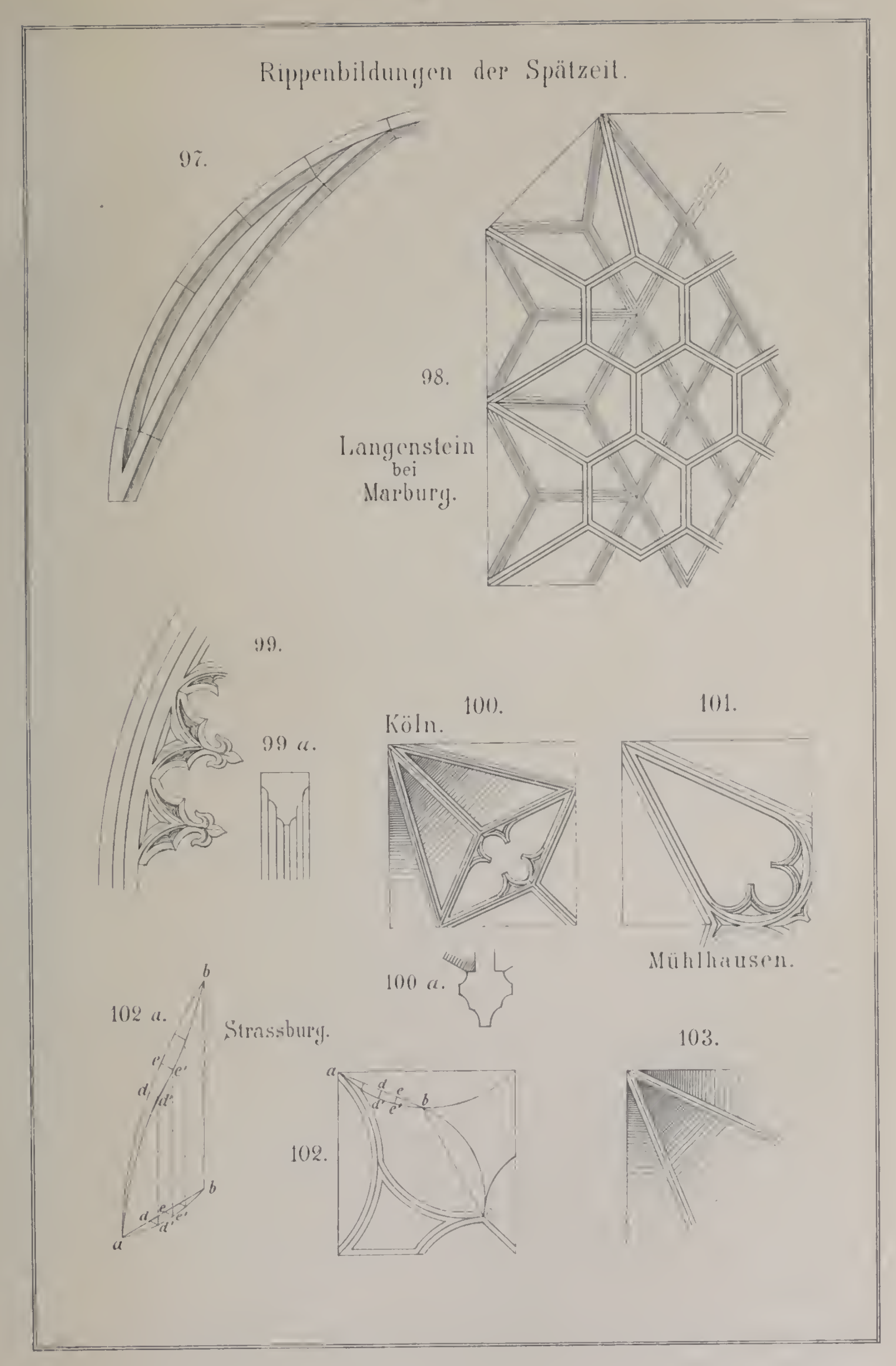
Tafel XI.



90.
91.
g
i
h
a
c
f
d
g
b
e
k
d
c
b
a
e
l
f
m
n
92.
Kreuzgang zu Meissen.
Kreuzkirche
Breslau.
90 a.
Barfüsserkirche
Erfurt.
n
o
m
93.
a
b
d
c
94.
95 a.
a
b
c
95 b.
a
b
d
c
c'
95.
St. Stephan
Mainz.
95 c.
96 a.
c
c'
96.
Freiburg.



Tafel XII.



Rippenbildungen der Spätzeit.
97.
98.
Langenstein
bei
Marburg.
99.
99 a.
100.
Köln.
101.
Mühlhausen.
100 a.
102 a.
Strassburg.
103.
102.



Chor der Sebalduskirche in Nürnberg, oder sie werden über die ganze Rippe vom Kapitäl aus zum Schlusssteine fortgeführt, wie im nördlichen Seitenschiffe des Domes zu Mainz und in besonders zierlicher Weise in dem Treppenturme eines Hauses in der rue de forge in Dijon (Fig. 99, wozu 99a das Rippenprofil) zeigt.

Ebenso gehört zu den mehr willkürlich dekorativen Gestaltungen der Rippen das Ansetzen von Nasen an die Seitenflächen der Rippen, welche dann frei unter die Kappenflächen hineintreten, zugleich aber dem betreffenden Werkstücke der Rippe ein grösseres Breitenmass aufzwingen. Ein derartiges Beispiel findet sich in einer der Kirche Maria zum Kapitol in Köln angebauten Kapelle Fig. 100. In der Regel ist dann das Rippenprofil nach oben wieder zusammengezogen, so dass die Nase frei zu liegen kommt (s. Fig. 100a). Unmittelbar aus einer Fortführung der Nasenbogen ergiebt sich die Gestaltung der im Grundrisse masswerkartig gebildeten Rippen, welche anfangs noch in Verbindung mit geradlinigen Rippen vorkommen, wie in der Vorhalle der Marienkirche zu Mühlhausen (Fig. 101), während später der ganze Gewölbegrundriss daraus gebildet ist. Schwach gebogene Rippen können, wie bereits Seite 29 erwähnt wurde, ihre praktische Berechtigung haben, davon kann aber bei den sogenannten gewundenen Reihungen der Spätgotik meist nicht mehr die Rede sein, wofür eine Kapelle an der Südseite des Strassburger Münsters einen möglichst entschiedenen Beleg giebt. Die Wirkung der sich wie Schlangen im Raum herumwindenden Rippen ist eine wahrhaft quälende und überaus magere. Fig. 102 zeigt ein derartiges Beispiel im Grundrisse.

Gewundene Reihungen.

Die Konstruktion der Aufrissbogen dieser gewundenen Rippen geschieht zunächst für die Sehnen derselben, also für den Bogenteil *a b* in Fig. 102 über der Sehne *a b* usw. Aus dem für die Sehne *a b* konstruierten Aufrissbogen bestimmt sich daher der Bogen der eigentlichen Rippe in der Weise, dass z. B. die Höhe des Punktes *d'* gleich der des Punktes *d* genommen wird und ebenso die Höhe des Punktes *e'* daselbst gleich der des Punktes *e* usw. Wenn in Fig. 102a der Bogen *a d e b* die isometrische Projektion des über der Sehne geschlagenen Bogens ist, so wird der Bogen *a d' e' b* der wirkliche Bogen des Rippenstückes, welcher sich in derselben Weise für *b c* usw. würde ermitteln lassen.

In derselben Weise geschieht dann auch die praktische Ausführung, indem nämlich den Seitenflächen des über der Sehne *a b* gestellten Lehrbogens ein entsprechend gebogenes Stück Holz angefüttert wird.

Die Richtung der Fugen in den Kappen kann in verschiedener Weise angenommen werden. Der Gewölbegrundriss bestimmt in der Regel die Wahl. Es kann diese Richtung entweder für jedes Kappenfeld eine besondere sein, so dass die Fugen der verschiedenen Felder sich auf den Rücken der Rippen unter schiefen Winkeln schneiden, wie in Fig. 103, oder es können die Fugen über den Rücken einzelner Rippen in gerader Linie durchgehen und auf den zunächstbefindlichen sich unter schiefen Winkeln schneiden, wie in Fig. 100 angegeben. Endlich können sie über allen Rippen in gerader Linie durchgehen und sich in den Mittellinien der Kappenfelder schneiden, in ähnlicher Weise, wie in den Scheitellinien der Kreuzgewölbe. (Näheres über die Konstruktion der Kappen folgt in einem besonderen Kapitel.)

5. Die Aufrissgestaltung der Gewölbe nach statischen und praktischen Rücksichten.

Im vorigen Kapitel sind die reicheren Gewölbeformen vorwiegend nach der „Grundrissbildung" ihrer Rippen behandelt, nunmehr sollen die wichtigsten Anforderungen an die „Aufrissgestaltung" zusammengestellt werden.

Die Mannigfaltigkeit der Aufrissbildung ist nicht geringer als die der Grundrissteilung. Das Prinzip der Gotik, jeden Bauteil streng aus den jeweiligen Bedingnissen heraus zu entwickeln, tritt bei der Überwölbung besonders hervor. Für zwei verschiedene Grundbedingungen schafft die Gotik auch zwei verschiedene Gewölbe. Die veränderliche Grundform der Joche, die vorhandene Konstruktionshöhe, Beschaffenheit der Baustoffe, absolute Grösse der Wölbung, Höhenlage der Lichtöffnungen, Beschaffenheit und Verteilung der das Gewölbe tragenden Stützen — das alles schafft immerfort veränderte Vorbedingungen, die den willkommenen Antrieb zu stets neuen Lösungen geben. In diesem ständigen Wechsel ruht zum grossen Teile der zauberhafte Reiz der mittelalterlichen Werke.

Es war natürlich, dass unter „ähnlichen Verhältnissen" auch „ähnliche Bildungen" sich ergaben, die ein gemeinsames wiederkehrendes Gepräge annahmen, aber anfangs nie zu einer Erstarrung führten. Die Bauhütten dürften zunächst ihr Streben lediglich auf eine Schulung im eigentlichen Wesen der Sache gelenkt haben, nicht auf einen toten Formelkram; dieser kann selbst in der späteren Zeit nicht allzu starr gewesen sein, das beweist die ungebundene Abwechslung und die immer noch von Jahrzehnt zu Jahrzehnt erkennbare lebensvolle Umgestaltung der Formen. Am letzten Ausgange des Mittelalters war allerdings immer mehr des „Zirkels Kunst und Gerechtigkeit" zu Ehren gekommen und aus der lebenden Konstruktionskunde eine tote Handwerksform geworden, die sich in die Renaissancezeit übertrug und hier ausser Zusammenhang mit dem praktischen Schaffen gänzlich verknöcherte, bis sie sich erst an der. Schwelle unserer Tage in ihren letzten Resten verliert.

Sehr lehrreich ist in dieser Richtung die umfangreiche Arbeit von Fr. Hoffstadt — das gotische A B C — Frankfurt 1840. Der Verfasser hat, gestützt auf Überlieferungen aus dem späteren Mittelalter, noch mehr aber auf solche aus dem XVI. bis XVIII. Jahrhundert (Zeichnungen, Meisterschriften, Modelle u. dgl.) ein ganzes System von geometrischen Konstruktionsregeln entwickelt, die sich auf alle Teile des gotischen Bauwerks, als Mauer- und Pfeilerstärke, Fenstermasswerk, Gewölbebogen, ja selbst auf das spätgotische Laubwerk erstrecken. Die geometrischen Beziehungen sind meist aus dem Quadrate (Verhältnis von Seite zur Diagonale), aus dem gleichseitigen Dreiecke und aus dem Kreise entwickelt. So lehrreich die Arbeit nach mancher Richtung ist, so darf man ihr doch für das Verständnis der frühen und mittleren Gotik jedenfalls keinen erheblichen Wert beimessen. Einige Konstruktionsregeln für Stern- und Netzgewölbe, die gerade durch Hoffstadt verbreitet sind, werden am Schlusse dieses Kapitels eine Besprechung finden, zuvor scheint es aber geboten, diese Gewölbe von anderen Gesichtspunkten aus zu betrachten.

Die Gestaltung der Wölbform mit Rücksicht auf das Gleichgewicht der Kräfte.

a. Gegenseitige Lage der Kreuzpunkte.

Das Gewölbe als Stabsystem.

Um die Vorstellung von der Lage und wechselseitigen Abhängigkeit der Kreuzpunkte eines reichen Rippengewölbes zu erleichtern, denke man sich zunächst

die Kappen fehlend und die Rippen ersetzt durch gerade Stäbe oder Spreizen. Von einem Gewichte oder einer Belastung dieser Spreizen selbst sei einstweilen abgesehen, alle vorhandenen Lasten mögen auf die Knoten- oder Kreuzpunkte vereinigt sein, welch letztere als bewegliche Gelenke zu denken sind.

Ein gewöhnliches Kreuzgewölbe nimmt sodann die Gestalt einer vierseitigen Pyramide an (vgl. Fig. 104). Bei einem einfachen Sterngewölbe setzt sich auf jede Seite der vorigen Pyramide noch eine dreiseitige Pyramide auf (vgl. die linke Seite der Figur). Wenn die vier Widerlagspunkte *A*, *B*, *C*, *D* fest und unverschieblich sind, dann ist auch die Spitze *S* ein fester Punkt. Damit sind dann auch alle drei Fusspunkte *A*, *B* und *S* der kleinen Pyramide fest und somit auch deren Spitze *E*. Diese Spitze könnte ihrerseits wieder den festen Stützpunkt für eine Firstrippe *E*, *F* abgeben. Das ganze Sterngewölbe stellt sich somit dar als ein festes unverschiebliches Gerüst von Stäben.

Die kleine Pyramide kann viel flacher sein als in der Figur gezeichnet, die Spitze kann ziemlich dicht auf die Grundfläche herabrücken (vgl. *M E* in Fig. 105). Die Haltbarkeit der Pyramide bleibt dabei noch immer gesichert, nur werden die Druckspannungen in den drei Stäben grösser, je flacher ihre Neigung ist. Wenn nun aber die Spitze noch weiter herabrückt, so dass sie in die Grundfläche *A B S* hineinfällt oder gar unter ihr liegt, dann wird die Grenze der Haltbarkeit erreicht oder überschritten sein, die drei Stäbe werden herabfallen (da ja eine Sicherung gegen Zug nicht angenommen war).

1. Gesicherte Höhenlage der Kreuzpunkte.

Daraus folgt die erste Grundbedingung für die Haltbarkeit des Gewölbes: Jeder Kreuzpunkt muss oberhalb der Ebene liegen, welche durch die Fusspunkte seiner „stützenden“ Rippen gelegt wird.

2. Unterstützung des Kreuzpunktes durch Rippen.

Ohne weiteres ergiebt sich noch die zweite Bedingung, dass jeder Kreuzpunkt von mindestens drei Rippenästen gestützt sein muss, die so gerichtet sind, dass jede beliebige durch den Kreuzpunkt gelegte senkrechte Ebene beiderseits mindestens eine Rippe hat.

Als Grenzfall würde die Unterstützung eines Schlusspunktes durch nur zwei in einer Ebene liegende Rippenäste gelten können, letztere würden ebenso wie zwei gegeneinander gerichtete Dachsparren aufrecht stehen, solange keine quer gerichtete Seitenkraft auf sie einwirkt. Eine solche würde immer eine seitliche Absteifung verlangen, die durch weitere Rippen oder unter Umständen durch die eingespannten Kappenflächen geboten werden könnte.

Sehr oft treffen mehr als drei Rippen in einem Kreuzpunkte zusammen und zwar vier, sechs, selbst acht und mehr. Unter diesen müssen mindestens drei vorhanden sein, welche die vorigen Bedingungen erfüllen; strenggenommen lässt sich überhaupt nur bei Vorhandensein von drei stützenden Rippen die Verteilung der Druckkräfte auf die einzelnen genau ermitteln, bei einer grösseren Zahl ist die Konstruktion nicht mehr statisch bestimmt, es können hier durch Zufälligkeiten der Ausführung schwer berechenbare Druckverteilungen eintreten (in gleicher Weise wie drei Beine eines Tisches stets ihren Anteil tragen, während das bei vier oder mehr Beinen nicht angenommen werden kann). Bei der Ausführung der Gewölbe trägt die Dehnbarkeit des Mörtels viel dazu bei, von vornherein selbstthätig eine angemessene Verteilung der Kräfte herbeizuführen. Bei einem vierseitigen Kreuzgewölbe kann man beispielsweise mit grosser Sicherheit voraussetzen, dass jede der vier Rippen ihren Kraftanteil richtig überträgt, es müsste denn eine wesentliche Verschiebung in der Lage der Widerlager oder in der Belastung stattgefunden haben.

Wenn sich mehr als drei Rippen in einem Schlusspunkte vereinen, so können sie sämtlich

ihn unterstützen, oder es können ausser den erforderlichen Stützrippen auch belastende Rippen auftreten (vgl. *D S* in Fig. 107 und *F E* in Fig. 104). Als belastend muss eine Rippe gelten, wenn sie mit ihrem Fussende oberhalb einer Ebene *m n o* (Fig. 107) liegt, welche durch den Schlusspunkt *S* parallel zu der Grundebene *A B C* der Stützrippen gelegt ist.

Neben derartigen Rippen, welche mit einem Ende stützen, mit dem anderen aber belasten, kommen solche vor, welche mit jedem Ende einen Kreuzpunkt zu stützen haben oder richtiger zwei Punkte gegeneinander abzusteifen haben. Solche verstrebende Rippen treten besonders an Netzgewölben auf, die oft ganze Züge derselben aufweisen. Man muss sie für jeden der beiden Kreuzpunkte als eine Stützrippe ansehen, z. B. *o s*, *n s* usw. im Netzgewölbe 109a. Im Sterngewölbe 108 würde dagegen *n s* als eine den Punkt *s* belastende und den Punkt *n* tragende Rippe gelten müssen.

Die Holzspreizen seien nun durch die wirklichen Rippen aus Stein ersetzt. Sehr kurze Rippen könnten als eine gerade Steinspreize gebildet sein, wie die englische Spätgotik thatsächlich gerade Rippen von geringerer Länge verwendet hat, die natürlich aus einem Stücke bestehen mussten. Sobald längere Rippen aus einer grösseren Anzahl von Steinen zusammengesetzt werden, bildet sich hier wie an anderer Stelle der naturgemässe Übergang vom Steinbalken zum Bogen. Die Bogenform wird schon durch das eigene Gewicht der Rippe, noch mehr aber durch die Belastung seitens der Kappen bedingt. Durch die gekrümmte Rippenform wird der obigen Grundbedingung für die Haltbarkeit eines Schlusspunktes aber noch eine zweite zugefügt. In Fig. 106 würde nämlich der Schlusspunkt *E* wohl durch die geraden Spreizen *A E* und *B E* getragen werden können, nicht aber durch die Rippenbogen über denselben. Diese zeigen zwischen *R* und *S* eine Einsenkung, welche ein Herabfallen der mittleren Rippensteine nach sich ziehen würde. Wenn von einer Aufhängung des Kreuzpunktes an oberen besonderen Tragbogen oder ähnlichen Künsteleien abgesehen wird, dann kann das Rippenstück nur dadurch haltbar gemacht werden, dass man dem Rücken soviel Masse zugiebt, als es die sichere Druckübertragung erfordert oder dadurch, dass man eine längere Strecke *v w* aus einem einzigen festen Steine herstellt, der unter den einwirkenden Kräften nicht zerbricht. Unter solchen Bedingungen finden sich in der That Beispiele von etwas eingesenkten Kreuzpunkten (z. B. an den reichen Netzgewölben des Kreuzganges zu Aachen).

3. Vermeidung eingesenkter Kreuzpunkte.

Aus vorigem folgt die dritte Grundbedingung: Die stützenden Rippen dürfen sich am Kreuzpunkte nicht stark nach innen einsenken, es sei denn, dass hier besondere Sicherungen vorgesehen sind.

Ob ein Gewölbe diesen drei Bedingungen entspricht, lässt sich durch einfache Betrachtung seiner Form leicht erkennen. Allein genügen dieselben jedoch noch nicht um die Standfähigkeit eines Stab- oder Rippensystemes zu gewährleisten, es muss vielmehr die Lage der Stützpunkte und die Belastung in einem gewissen Zusammenhange stehen.

Wenn z. B. in Fig. 105 der Schlusspunkt *S* nur gering durch das Gewicht *P* belastet ist, dagegen der Kreuzpunkt *E* dicht über seiner Grundfläche *A B S* liegt und stark durch *G* belastet ist, so erzeugt *G* in den nach *E* führenden drei Stützrippen grosse Druckkräfte, von denen diejenige der Rippe *E S* den Scheitel *S* zu heben sucht. Die Stäbe *A S* und *B S* würden den Punkt *S* zurückhalten können, wenn sie Zugkräfte leisten könnten. Da mit diesen aber nicht gerechnet werden darf, würde die Haltbarkeit nur durch grössere Belastung des Scheitels *S* erreicht werden können. Wird *E* geringer belastet oder höher hinaufgeschoben, so kann natürlich die Be-

lastung von S sich wieder verringern oder schliesslich ganz fortfallen. Weit empfindlicher ist noch die Figur 109a. Wenn in dieser irgend ein Schlusspunkt eine Lastvermehrung erfährt, so wird er sich sofort senken und die umliegenden Stäbe in eine die Standfähigkeit verletzende Bewegung bringen.

Es lässt sich leicht erkennen, dass zwischen dem Verhalten der Rippensysteme nach Art der Figuren 105, 108a, 108b (Sterngewölbe) einerseits und den Systemen nach Art der Figuren 109a, 109b (Netzgewölbe) ein wesentlicher Unterschied besteht. In dem Stabsysteme 105 kann die Scheitellast P, wenn sie nur nicht gar zu klein wird, eine beliebige Grösse annehmen, ebenso kann der Punkt E, falls er nur nicht gar zu tief herabrückt, eine beliebige Höhenlage erhalten. In dem entsprechenden Gewölbe 108 können also die betreffenden Kreuzpunkte ebensowohl in der Höhe m wie in der Höhe n liegen oder selbst eine unter einander abweichende Höhenlage haben. In einem solchen Sterngewölbe haben die Kreuzpunkte eine unbewegliche Gleichgewichtslage zu einander, die auch in angemessenen Grenzen bestehen bleibt, wenn die Lasten sich ändern. Bei wechselnder Gestalt oder anderer Last ändern sich natürlich entsprechend die Grössen der Kräfte in den einzelnen Rippen, deren Abmessungen und Formen den Kräften angepasst sein müssen.) Die Vorzüge dieser Sternformen bestehen also darin, dass sie eine ziemlich willkürliche Anordnung der Kreuzpunkte zulassen und dass das ganze System selbst bei veränderter Belastung der Kreuzpunkte unverrückbar oder steif ist.

Anders verhält es sich mit dem Netzgewölbe 109a, 109b (dgl. 82, 83 und vielen anderen). Da die Kreuzbogen unterbrochen sind, wird der Scheitel s nicht fest durch sie unterstützt, er kann demzufolge auch nicht als unverrückbarer Fusspunkt für die weiteren Rippen so, sm usw. angesehen werden. Ebensowenig können die Punkte o, m, usw. feste Fusspunkte für den Schlusspunkt s abgeben. Das ganze Rippennetz befindet sich in einem labilen Gleichgewichtszustande, wenn es als Stabsystem mit beweglichen Gelenken aufgefasst wird. Die Kreuzpunkte liegen nicht fest, sondern lassen sich gegeneinander verschieben. Eine Ruhelage des Systems ist nur möglich bei einer ganz bestimmten dieser Lage zugehörenden Belastungsart. Ändert sich die Lastverteilung im mindesten, so werden die Stäbe ihre Ruhelage verlassen nnd durcheinander fallen, oder wenn sie zugfest verbunden wären, so würde sich das ganze Stabsystem nach unten durchschlagen und gleich einem Netze unter den Widerlagspunkten hängen. Jede neue Belastung erfordert zur sicheren Aufnahme eine andere Lage der Stäbe. Soll z. B. der Scheitel s stärker beschwert werden, so muss er zuvor höher hinaufgerückt werden; allgemein fordert eine Lastzunahme ein Heben, eine Lastabnahme ein Senken des betreffenden Kreuzpunktes, damit eine Gleichgewichtslage entsteht. Man sieht, dass bei derartigen labilen „Netzformen" die Höhenlage der Schlusspunkte durchaus nicht freigegeben ist; wenn die Widerlagspunkte und event. noch die Pfeilhöhe gegeben sind, so wird die weitere Höhenlage der einzelnen Kreuzpunkte durch die Belastung bedingt. Dem stellt sich, wie gezeigt, die grössere Freiheit in der Gestaltung der festen „Sterngewölbe" gegenüber, die besonders in der früheren Zeit ihrer Verwendung mannigfach ausgenutzt wurde; je mehr man aber in der

späteren Gotik zu den beweglichen, maschenartigen Netzformen überging, umsomehr mussten einheitlich gebogene Gesamtformen der Gewölbe gewählt werden, kugelähnliche oder cylinderartige Flächen.

Unterscheidung der Stern- und Netzgewölbe.

Wir glauben die Unterscheidung von Stern- und Netzgewölben am besten so fassen zu können, dass unter einer Sternform ein unverschiebliches, unter Netzform dagegen ein labil verknüpftes Rippensystem zu verstehen ist. (In diesem Sinne werden beide Ausdrücke in der Folge verwendet werden.)

Die Rippensysteme sind zu vergleichen mit den räumlichen Fachwerken. Damit ein unverschiebliches oder steifes Stabsystem (Sterngewölbe) entsteht, sind bei m Kreuzpunkten und n Widerlagspunkten mindestens 3 m + n — 3 Stäbe erforderlich (die umschliessenden Stirnbogen sind dabei nicht als Stäbe mitgerechnet).

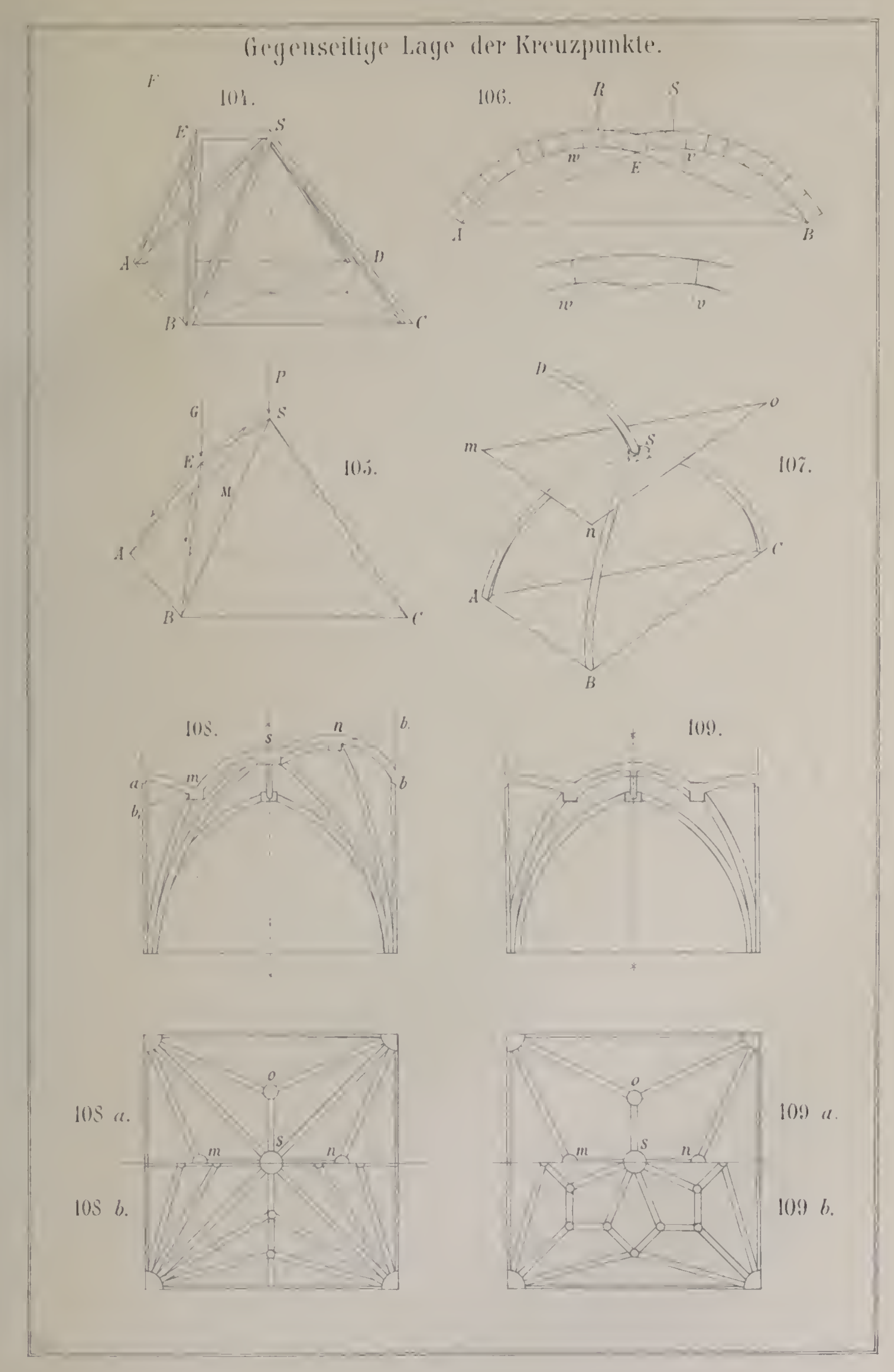
In Wirklichkeit sind die mit Masse behafteten Netzgewölbe natürlich längst nicht so labil, wie ein theoretisch gedachtes wesenloses Stabsystem. Die körperliche Ausdehnung der Rippen, die Steifigkeit der Knotenpunkte und die Versteifung durch die Kappen machen das Gewölbe in gewissen Grenzen unbeweglich. Bei nicht zu grossen Änderungen in der Belastung werden die zugehörigen Stützlinien nicht sehr voneinander abweichen, so dass sie alle im Innern der körperlichen Rippen einen gesicherten Platz finden. Wenn demnach das Netzgewölbe nach Form und Stärke richtig konstruiert ist, so steht es bezüglich der Haltbarkeit dem Sterngewölbe nicht gar so sehr nach, immer aber zeigt es diesem gegenüber beim Entwerfen die Fessel einer geringeren Freiheit in der Höhenlage der einzelnen Schlusspunkte.

Seilpolygon und Seilnetz.

Die theoretische Ermittelung der Gleichgewichtslage für die Kreuzpunkte solcher Gewölbe würde meist nicht sehr einfach sein. Man stellt sich ihre Gestalt am besten vor, wenn man sich unterhalb des Gewölbes ein herabhängendes Netz hergestellt denkt, dessen Knotenpunkte genau so belastet sind wie die des oberen Gewölbes. Dieses Netz wird eine Form annehmen, welche das getreue Spiegelbild eines oberen, dem Gewölbe entsprechenden Stabsystemes bildet. Der Unterschied zwischen dem Stabnetze und dem Seilnetze besteht darin, dass im ersteren sämtliche Stäbe auf Druck, im letzteren sämtliche Seile mit gleicher Kraft auf Zug beansprucht werden, ferner befindet sich das Stabnetz im labilen, das Seilnetz im pendelnden Gleichgewichte, d. h. ersteres hat das Bestreben, seine Gleichgewichtslage zu verlassen, letzteres immer wieder in dieselbe zurückzukehren. Ändert man die Belastung des Seilnetzes, so geht es selbstthätig in eine andere dieser Last entsprechenden Gleichgewichtslage über. Letztere müsste auch dem Stabnetze gegeben werden, damit es bei der neuen Last stehen könnte. Wenn im Stabnetze bei einer Belastung irgendwo eine unerlaubte Zugkraft entstehen würde, so ist auch diese aus dem entsprechenden Seilnetze sofort zu erkennen, es werden sich hier die Knotenpunkte gegeneinander bewegen und das zwischen ihnen liegende Seil wird schlaff werden.

Ein solches Seilnetz ist für das Gewölbe dasselbe, was das Seilpolygon für einen Bogen ist. Wird unter einem Bogen ein Seil ausgespannt, das man genau so belastet wie den Bogen selbst, so wird es die theoretisch richtige Bogenlinie im Spiegelbild zeigen. Würde man die Lasten fortlaufend anbringen, so würde sich eine Kurve „eine Seillinie“ ergeben; da man aber die Lasten an einzelnen Punkten aufhängen wird, ergiebt sich ein eckiger Linienzug „das Seilpolygon“. Das diesem entsprechende Druckpolygon, das im übertragenen Sinne auch wohl Seileck genannt wird, geht bei Vermehrung der Lastpunkte in eine Kurve über, die der Seillinie entspricht und als „Drucklinie“ bezeichnet wird. Die graphische Statik konstruiert diese Linien in einfacher Weise durch mannigfache Anwendung des Parallelogrammes der Kräfte (vgl. Müller-Breslau, Elemente der graphischen Statik; Keck, Vorträge über graph. Stat. und andere). Dabei findet man nicht nur die Richtung der Kräfte, sondern auch ihre Grösse. Eine Ausdehnung der graphischen Statik auf die räumlichen Netzformen ist für die meisten Fälle nicht so sehr einfach, da sie ihre

Tafel XIII.


Gegenseitige Lage der Kreuzpunkte.
104.
106.
105.
107.
108.
109.
108 a.
108 b.
109 a.
109 b.



Konstruktionen nur in der Ebene ausführen kann. Hat man z. B. mit drei von einem Punkte ausgehenden Kräften im Raume zu thun, so wird man zunächst zwei durch eine Resultierende ersetzen müssen, welche mit der dritten in einer Ebene liegt.

Für besondere Fälle der Praxis könnte es sich thatsächlich empfehlen, kleine Netzmodelle (vielleicht in $^1/_{10}$ d. nat. Gr.) aus Seilen oder Fäden anzufertigen, deren Herstellung gar nicht so übermässig schwierig ist, wie Versuche des Bearbeiters gezeigt haben. Handelt es sich nur um die Festlegung der Kreuzpunkte, so würde man auf diese die ihnen zukommenden Belastungen der Umgebung in geeigneter Weise vereinigen können. Die von Punkt zu Punkt laufenden Fäden würden dann als straffe gerade Linien erscheinen.

Wollte man auf diese Art auch die theoretisch richtigste Krümmung der Rippen (von der unten noch die Rede sein wird) ermitteln, so hätte man das jeder Rippe zugehörige Seilstück in Form einer das Rippengewicht darstellenden Kette einzufügen und an deren Teilstücken eine ihnen zukommende Kraft anzubringen, berechnet aus Schub und Schwere des zubehörenden Kappenstückes sowie der etwaigen Oberlast. Auf diese Art bekäme man genau die theoretisch richtige Rippengestaltung. Wäre eine wechselnde Last anzunehmen, so würde man auch die Belastung des Modelles entsprechend ändern und die Verschiebungen beobachten. Alle dabei sich ergebenden Seillagen müssen natürlich mit genügender Sicherheit im Innern des späteren Rippenkörpers Platz finden.

Engmaschige Gewölbenetze.

Im Mittelalter hat ein gesundes konstruktives Gefühl, zeitweise geschärft durch üble Erfahrungen, die richtige Form selbst für die reichsten Rippengewölbe finden lassen, Wenn das Rippennetz ziemlich dicht wird und die Belastung nicht gar zu ungleichmässig verteilt ist, dann nimmt das Geripp eines Netzgewölbes eine ziemlich regelmässig gebogene Gesamtform an, die um so einheitlicher ist, je enger die Maschen werden. Bei zentralen Feldern ergeben sich meist kugelähnliche, über langgestreckten Räumen tonnenartige Bildungen. Sehr dichte Netze kann man ihrer konstruktiven Gestalt nach dreist als einfache vollflächige Gewölbe behandeln, es ist damit aber durchaus nicht gesagt, dass man bei ihnen unbedingt zu der genauen Kugel oder dem halben Kreiscylinder der Römer zurückkehren müsse. Andere Scheitelhöhen ergeben andere Gestalten, überdies erfordern jene römischen Formen eine Verschwendung an Wölbstärke, da sie mit den theoretischen Gleichgewichtsformen wenig genau übereinstimmen. Über letztere siehe weiter hinten (Seite 54 und folg.).

Zwischen den ursprünglichen Gewölberippen und den späteren Maschenreihungen ist ein merklicher Abstand zu erkennen. Jene waren stark belastete Tragbogen, welche als festes Gerüst das ganze Gewölbefeld in Einzelgewölbe zerlegen; diese ziehen sich schliesslich als Netz unter einer einheitlich gebogenen Fläche hin, die Kappen oft weniger tragend als zeitweise verstärkend, wodurch aber immer noch leichte Wölbung, leichtes Lehrgerüst und eine ästhetische Teilung erzielt ist.

b. Druckverteilung in den Kappen.

Im vorstehenden handelt es sich um die Gesamtgestalt des Gewölbes, besonders um die gegenseitige Lage der Schlusspunkte. Die Rippen sind nur nebenher und die zwischen ihnen ausgespannten Kappenflächen noch gar nicht zur Besprechung gelangt. Bei einem grossen Teile der Wölbsysteme — den gewöhnlichen Kreuz- und Sternformen — konnte man in den durch die aufgestellten Bedingungen gebotenen Grenzen über die Lage der Schlusspunkte frei verfügen. Je

mehr man aber diese Freiheit ausnutzt, um so schärfer muss man sein Augenmerk auf eine richtige Gestaltung der Rippen und Kappen lenken.

Auf streng wissenschaftlichem Wege die Kräfte zu ermitteln, die in den tausendfältig gestalteten Kappen auftreten können, würde zu äusserst schwierigen, und doch nur bedingungsweise löslichen Aufgaben der Statik führen. Damit ist dem praktischen Baukünstler wenig gedient, für ihn ist es wichtig, dass er sich ein Gesamtbild von den Kraftwirkungen verschafft und dass er auf vereinfachtem, aber doch möglichst zutreffendem Wege sich Rechenschaft über seine Werke geben kann. Dazu gehört vor allem eine klare Vorstellung von den einschläglichen Verhältnissen; wird diese erworben, so kann man selbst ein nach dem ersten Anschein so unwegsames Gebiet, wie das der reichen gotischen Wölbbildungen, leicht entwirren und durchwandeln, wie es im folgenden versucht werden mag.

Einfluss der Schichtenlage.

Sehr verbreitet ist die Täuschung, dass die Richtung des Wölbdruckes immer von der Lage der gemauerten Kappenschicht abhänge. Dies ist im allgemeinen nicht der Fall, für den Widerlagsdruck eines Tonnengewölbes ist es z. B. bei sonst gleicher Form ohne viel Belang, ob die Schichten liegend oder „auf den Schwalbenschwanz" gemauert sind. Die Schichtenlage hat ihre grosse Bedeutung für die Ausführung der Gewölbe, später tritt sie ziemlich zurück (wenngleich sie immer noch bei etwaigen Verdrückungen eine gewisse Rolle spielen kann, wenigstens dann, wenn der Winkel zwischen der Druck- und Schichtrichtung ein zu spitzer ist. Näheres siehe hinten unter Kappengemäuer). In altchristlicher, romanischer und auch gotischer Zeit ist demgemäss ein mannigfaltiger Wechsel in der Schichtenlage zu beobachten. (Über die Schichtenlage bei den Byzantinern siehe vorn Fig. 12 13 und über diejenige der gotischen Gewölbe hinten Fig. 298 319).

Unregelmässige Druckverteilung.

Der wesentliche Faktor für die Druckverteilung ist nicht die Schichtenlage sondern die Gestalt des Gewölbes, aber auch diese ist nicht ganz allein entscheidend, es können verschiedene Nebenumstände, selbst Zufälligkeiten einen ganz erheblichen Einfluss üben.

Wenige Konstruktionen sind so sehr wie gerade die Wölbungen abhängig von Zufälligkeiten. Einige mögen hier aufgezählt werden. Auf die Spannungen im Gewölbe haben Einfluss: 1. unrichtig verteilte Widerlagsstärken, die ein gewisses Fortweichen der schwachen und ein Feststehen der starken Widerlagsteile ergeben, 2. verschieden starkes Einspannen der Widerlager durch äussere Kräfte z. B. die Schubkräfte benachbarter Gewölbe, welche sich auf das in Frage kommende Gewölbe übertragen, 3. verschiedenes Setzen der Widerlager, 4. ungleich zusammengesetzter oder ungleich steifer Mörtel, der an ein und demselben Gewölbe verwendet wird, 5. Unterbrechungen und verschieden schnelles Vorgehen beim Aufmauern, 6. festes Einspannen einzelner Schichten, während andere beweglich im vollen Mörtel stehen, 7. mehr oder weniger grosse Beweglichkeit des Lehrgerüstes und Art oder Zeitpunkt der Ausrüstung. Alle derartigen Umstände können kleine Verschiebungen oder Bewegungen bewirken, die bei der geringen Elastizität der verwendeten Baustoffe sofort eine merkliche Druckänderung nach sich ziehen. Findet bei starken Verdrückungen eine Zertrennung einzelner Wölbteile durch auftretende Risse statt, so wird dabei die Kraftübertragung um so mehr beeinflusst.

Einfluss des Mörtels auf die Druckverteilung.

Bei den meisten dieser Nebenumstände spielt der Mörtel eine gewisse Rolle mit, er kann deren Einfluss ausgleichen oder verstärken, es kommt dabei besonders in Frage, ob der Mörtel noch weich oder bereits erhärtet ist. Im allgemeinen trägt der weiche Mörtel dazu bei, eine gleichmässige, der Form des

Gewölbes folgende Druckverteilung zu begünstigen, während nach Erhärtung des Mörtels sich der Druck vorwiegend dorthin fortpflanzt, wo er den grössten Widerstand findet.

Es hängen diese Erscheinungen mit den plastischen und elastischen Eigenschaften der in Frage kommenden Stoffe zusammen. Um sie zu verstehen, denke man sich eine zähflüssige, dem Erhärten nahe Masse (Mörtel, Asphalt) einen Abhang herabgleiten und sodann durch einen ausgezackten Körper aufgehalten (Fig. 110). Der Hauptdruck wird auf die vortretenden Zacken *a* ausgeübt, durch Verdrückungen und Verschiebungen in der Masse wird eine geringere Belastung auch noch den Vertiefungen *b* mitgeteilt, die Lücken *c* dagegen gehen ganz leer aus. Es wird die Masse nach der stattgehabten Formänderung zur Ruhe kommen und erhärten. Je starrer der Körper war, um so mehr wird er seinen ganzen Druck nur auf wenige vortretende Zacken bringen, je dünnflüssiger oder schmiegsamer er war, um so mehr wird er seine Last auch den Vertiefungen mitteilen.

Ähnliche Vorgänge spielen sich in einem Gewölbe ab. Denkt man sich ein Rechteck durch eine bauchige Tonne oder böhmische Kappe überspannt, so wird diese sowohl den Längs- als den Querseiten Druck übermitteln. Wie sich dieser Druck aber auf beide Richtungen verteilt, ist nach Erhärtung des Mörtels nicht völlig bestimmt zu sagen, es hängt das zum Teil von Zufälligkeiten ab. Werden die Mauern der kurzen Seiten *D G* und *E F* (vgl. Fig. 111) beseitigt (vielleicht auch nur durch ein Setzen der Grundmauern gesenkt —), so werden sich die anschliessenden Gewölbteile herabschieben, das benachbarte Stück fällt vielleicht ganz herab, darüber bilden sich schräge Risse, allmählich kommt das Gewölbe zur Ruhe und wird lediglich durch die Längswände getragen (Fig. 111a). Sind umgekehrt bei dem gleichen Gewölbe die kurzen Wände äusserst fest (Fig. 111b), während die langen zwar vorhanden aber zu schwach sind, (da völliges Fehlen im skizzierten Falle wohl nicht mehr thunlich), so werden die dünnen Längswände unter dem Wölbdrucke sich setzen oder ausweichen. Dabei wird das Gewölbe nachrücken, bis es seiner Hauptmasse nach sich auf die festen kurzen Seiten gestützt hat. Diesmal tragen also gerade die kurzen Seiten, die vorhin leer ausgingen. Auf die Längswände kommt nur ein geringer Teil des Druckes und zwar so viel, wie diese aufnehmen können. Würde ihnen mehr zugemutet, als sie tragen können, so würde sich die Bewegung noch bis zur weiteren Entlastung fortsetzen. So wird das Verdrücken und Verschieben bis zu einer neuen Ruhelage mit anderer Lastverteilung stattfinden. Natürlich dürfen die Widerlager nicht gar zu unvollkommen sein, da sich sonst keine Ruhelage bilden kann, sondern die Verschiebungen sich bis zum Einsturze fortsetzen.

Je mehr der Mörtel erhärtet ist und je besser er angebunden hat, um so mehr lässt er zu, dass ein stärkeres Widerlager für ein schwaches eintritt; je weicher er aber ist, um so weniger ist dieses möglich. Die Umlagerung des Druckes infolge von Widerlagsverschiebungen bei erhärteten Gewölben ist in alten Bauten oft ganz erstaunlich, man kann an den Rissen verfolgen, dass sich die Wölblast auf gänzlich andere Punkte übertragen hat. Unter Umständen kann eine solche Umlagerung von Nutzen sein, im allgemeinen ist es aber dem Bauwerke dienlich, dass es dauernd

in derjenigen Weise seine Beanspruchung empfängt, die man ihm von vornherein zugemutet hat.

Dass aber von vornherein eine günstige allseitige Druckverteilung stattfindet, ist gerade durch den „weichen Mörtel“ zu erreichen. Wenn ein Widerlagsteil etwas weicht, so wird er bei weichem Mörtel nicht entlastet, es rückt vielmehr ein Teil des Gewölbes unter gewissen Verdrückungen nach, bis eine Ruhelage eintritt. Ist ein Widerlagsteil so schwach konstruiert, dass er überhaupt nicht mehr zur Ruhe kommt, so rückt ein weiches Gewölbe bis zum teilweisen oder auch völligen Einsturze nach. Wenn diese Eigenschaft des weichen Mörtels schlechten Konstruktionen zwar verhängnisvoll werden kann, so ist sie für richtige Anlagen willkommen, für diese will man gerade erreichen, dass einem jeden Widerlagsteil der Druck zugeführt wird, der ihm nach der Wölbform gebührt.

Welcher Grad der Weichheit für den Mörtel günstig ist, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden, einen gar zu beweglichen Mörtel wird man besser meiden, da er unerwünscht starke Verdrückungen erzeugen kann. Gewöhnlich reicht es hin, wenn nur noch ein ganz geringer Grad von Dehnbarkeit beim Ausrüsten vorhanden ist. Beim freihändigen Mauern genügt der dazu übliche steife Mörtel noch, um die Kappen bei der fortwährend wechselnden Last immer in einer entsprechenden Bewegung zu erhalten, so dass, wenn nicht ein gewaltsames Einkeilen einzelner Schichten stattfindet, schliesslich die Druckverteilung der Form des Gewölbes folgt.

Es geht aus diesen Betrachtungen hervor, dass ein Baumeister mit reinem Gewissen sein Gewölbe nicht zu spät ausrüstet, um die günstige Thätigkeit des Mörtels auszunutzen. Einer unsicheren Konstruktion kann dagegen „unter Umständen“ durch längeres Erhärten gedient sein, da dann „vielleicht“ die Arbeit der weichenden faulen Konstruktionsteile durch andere reichlich kräftig konstruierte mit geleistet wird. Im Nachfolgenden wird vorausgesetzt, dass eine der Wölbform zukommende regelrechte Druckverteilung, begünstigt durch die plastischen Eigenschaften des Mörtels, stattfindet. Man kann dann allgemein die Hypothese aufstellen, dass in einer gewölbten Kappenfläche jedes Kappenteilchen vorwiegend in derjenigen Richtung seinen Druck nach dem Widerlager fortpflanzt, welche eine rollende Kugel verfolgen würde, oder mit anderen Worten, dass der Druck sich immer in der steilsten Richtung zu übertragen sucht.

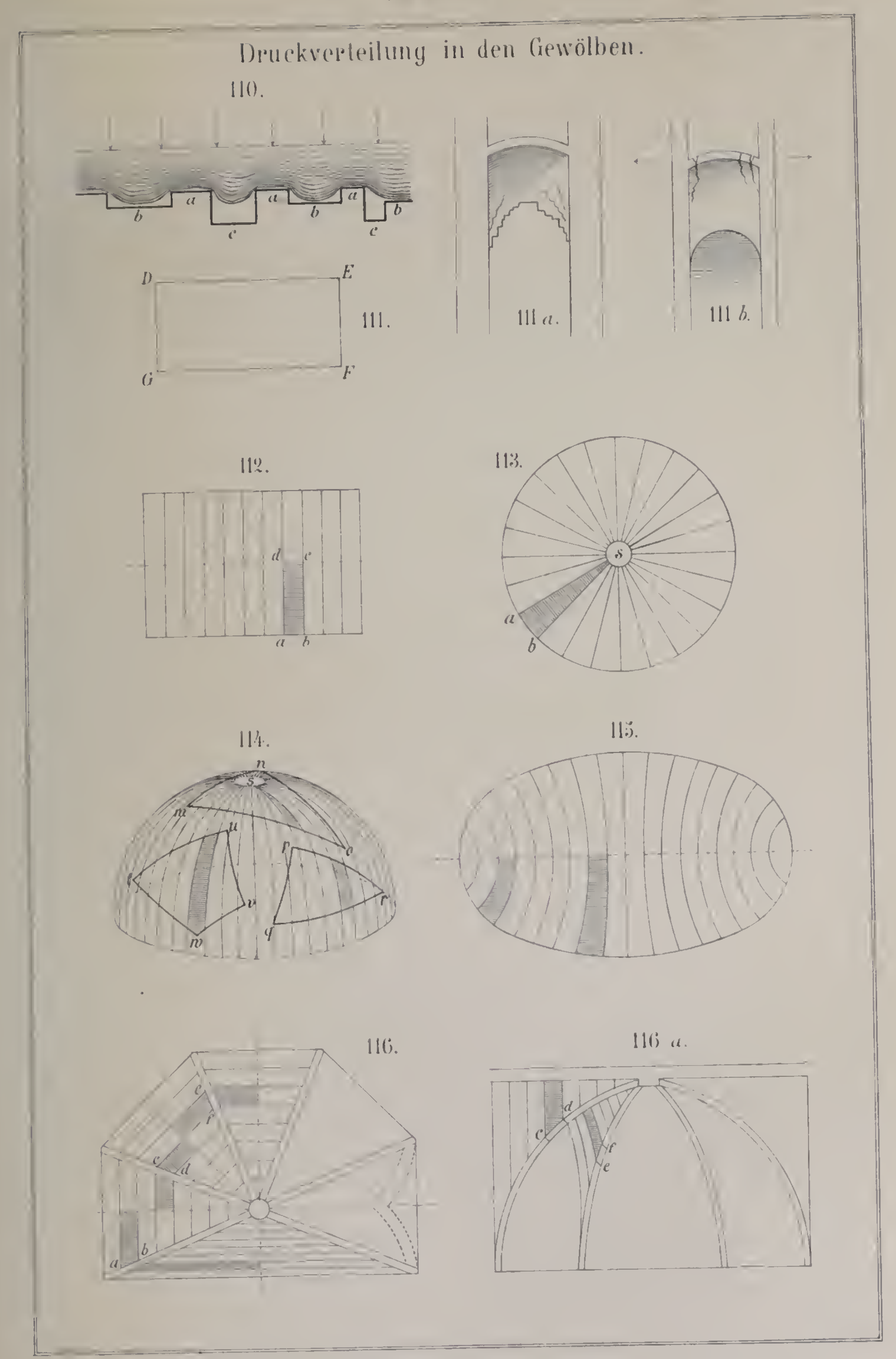
Abhängigkeit des Druckes von der Wölbform.

Die Kappengestalten, welche das Mittelalter verwendet hat, sind ungezählte, für die meisten giebt es keinen mathematischen Namen. Teile liegender, steigender und bauchiger cylinderartiger Flächen, Kegelausschnitte und alle möglichen kugelähnlichen oder busigen Formen kommen vor, sie lassen sich bei aller Verschiedenheit vorwiegend in zwei Abteilungen zerlegen, in die nach einer Richtung gekrümmten, tonnenartigen Flächen und die nach allen Richtungen gebogenen, busigen Flächen.

Zerlegung der Kappen in Streifen.

Nimmt man gemäss der vorstehenden Hypothese die Fortpflanzung des Gewölbedruckes an, so wird sich für Tonnenflächen eine parallele Streifenteilung (Fig. 112) und für eine Kuppel eine radiale Flächenzerlegung (Fig. 113 und 114)

Tafel XIV.



Druckverteilung in den Gewölben.
110.
a
b
c
111.
D
E
F
G
111 a.
111 b.
112.
d
e
a
b
113.
s
a
b
114.
n
s
m
u
o
p
v
r
w
q
115.
116.
116 a.
c
d
f
e



ergeben. Für busige Flächen, welche sich von der Umdrehungskuppel nicht weit entfernen, kann man ohne grossen Fehler die gleiche radiale Zerlegung vom höchsten Punkte (Gipfelpunkt) aus vornehmen. Für beliebige Teilstücke einer solchen Fläche wie die gebogenen Dreiecke *m n o* und *p q r*, sowie das Viereck *t u v w* in Fig. 114 bleibt natürlich die Streifenteilung die gleiche. Nötigenfalls sind solche Flächenstücke erst bis zu ihrem Gipfelpunkte zu ergänzen, damit man von diesem aus die Teilung vornehmen kann. Liegen Flächen vor, welche sich sowohl von der Tonne als von der Kuppel weit entfernen, z. B. die zwischen beiden stehende Form Fig. 115, so ergiebt sich nach Massgabe der Bahnen herabrollender Kugeln eine abweichende Streifenteilung, wie sie für den vorliegenden Fall in die Figur eingetragen ist. Meist wird man aber hinlängliche Genauigkeit erzielen, wenn man nach den Vorbildern 112 u. 113 parallel oder radial teilt oder auch beides vereint.

Nach diesen Angaben ist es leicht, bei einem Kreuzgewölbe irgend welcher Art die Kappenflächen in geeigneter Weise in Streifen zu zerlegen und dadurch die Art der Druckverteilung nach den einzelnen Richtungen angenähert zu erkennen. Es werde dies an mehreren Abbildungen gezeigt, die sich fast ohne jede Erläuterung verstehen lassen.

1. Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel. Die Kappenflächen haben eine tonnenartige Form und werden daher senkrecht zum Scheitel in parallele Streifen zerlegt. Als Beispiel (Fig. 116, 116a) ist ein halbpolygonales Chorgewölbe gewählt, es ist gleichgültig, ob die Schildbogen bezw. Kappenflächen nach dem Halbkreise, dem Spitzbogen oder einer anderen Linie gebogen sind. Jeder Kappenstreifen trägt seinen Anteil an Gewölbelast und Schub auf das zugehörende Rippenstück, so das der Rippenteil *a b* die beiden hier zusammenstossenden schraffierten Streifen aufnimmt. In gleicher Weise ist die Belastung der Rippenstücke *c d* und *e f* durch Schraffur angedeutet. Damit die Rippe nicht seitwärts ausbaucht, muss der Schub, den die beiderseitigen Streifen ausüben, sich in der Richtung senkrecht zur Rippe aufheben, es wird davon noch die Rede sein. Bei Gewölben mit steigendem Scheitel werden die Streifen die an der rechten Seite von Fig. 116 durch gestrichelte Linien angedeutete Richtung nehmen.

2. Kreuzgewölbe mit kugelähnlichen busigen Kappen (Fig. 117 118, 119). Man sucht für jedes Kappenfeld den höchsten Punkt *s* auf und zieht von diesem aus im Grundrisse Strahlen, welche die Fläche in dreieckige Teilstreifen zerlegen. Auf ein Stück *v w* einer Rippe (Fig. 117) kommt Gewicht und Schub der schraffierten Dreiecke. In Fig. 117 liegen die Gipfelpunkte etwa in der Mitte der Kappenflächen, es verteilt sich der Druck daher etwa zu gleichen Teilen auf die Rippen und die Schildbogen. Rückt der Kappengipfel dicht an den Schlussstein (Fig. 118 links), so bekommt der Schildbogen den grössten Druck, umgekehrt erhalten die Rippen den Hauptanteil, wenn der Gipfelpunkt in die Nähe des Schildbogens rückt (118 rechts). Es kann sogar die Kappe sich so sehr nach einer Seite heben, dass der Gipfel gar nicht mehr im Kappendreiecke liegt, sondern ausserhalb desselben ergänzt werden muss. In dem linksliegenden Dreiecke der Fig. 119 erhält nur der Schildbogen eine senkrechte Last von den Teilstreifen, die Rippen werden nicht belastet, ausser dem nie fehlenden Horizontalschube er-

leiden sie vielmehr einen nach oben gerichteten Druck, sie werden getragen. Umgekehrt werden in dem rechts liegenden Kappendreiecke die Rippen stark belastet, während der Schildbogen einen Druck nach oben bekommt.

Man hat es in dieser Weise ganz in der Hand, je nach Wahl der Kappenform den Wölbdruck nach dem einen oder anderen Bogen zu lenken, was für die Ausführung solcher Gewölbe grosse Bedeutung hat. Wichtig ist es, immer darauf zu sehen, dass die Rippen möglichst von beiden Seiten gleich geschoben werden, was sich am vollkommensten erzielen lässt, wenn man die benachbarten Kappenwipfel symmetrisch zur Rippe legen kann. Selten haben busige Kappen eine kugelartige Form, meist weichen sie von der Kugel in der Weise ab, dass die in die unteren Kappendreiecke der Figuren 117, 118 und 119 eingetragenen Streifen an Stelle der in den linksseitigen Dreiecken gezeichneten in Frage kommen.

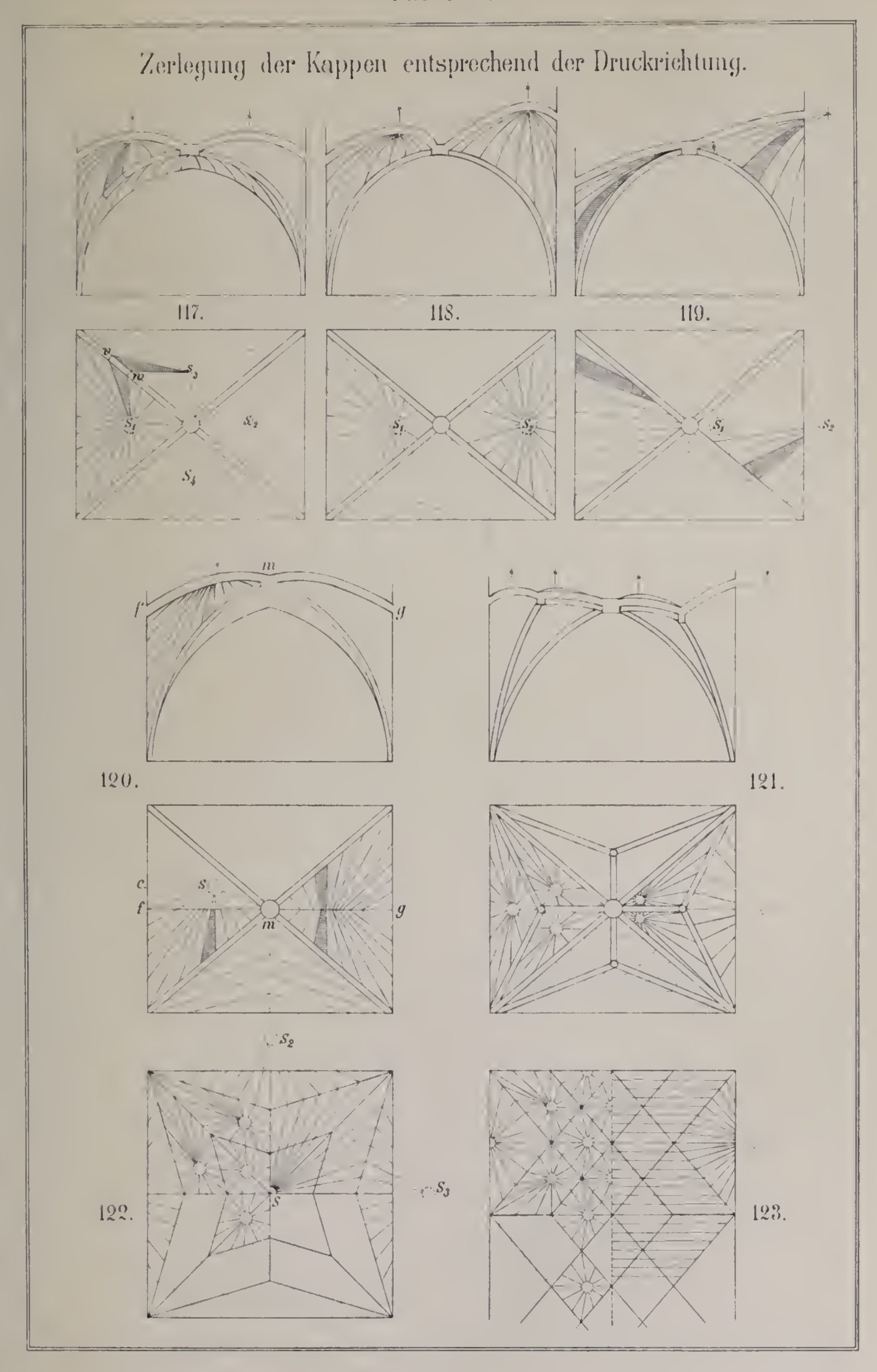
3. Kreuzgewölbe mit zugeschärften busigen Kappenfirsten (Fig. 120). Das Gewölbe entsteht, wenn von spitzen Schildbogen aus gekrümmte Firstkanten fm und gm zur Mitte geführt werden, gegen welche sich dachartig die Kappenflächen zusammenschneiden. Jede der Kappenhälften ist anzusehen als ein aus einer kuppelähnlichen Fläche geschnittenes Dreieck (vgl. pqr in Fig. 114). Den mutmasslichen Gipfelpunkt s muss man ergänzen und von hier aus die Teilstrahlen ziehen, wie solches in der Abbildung 120 geschehen ist.

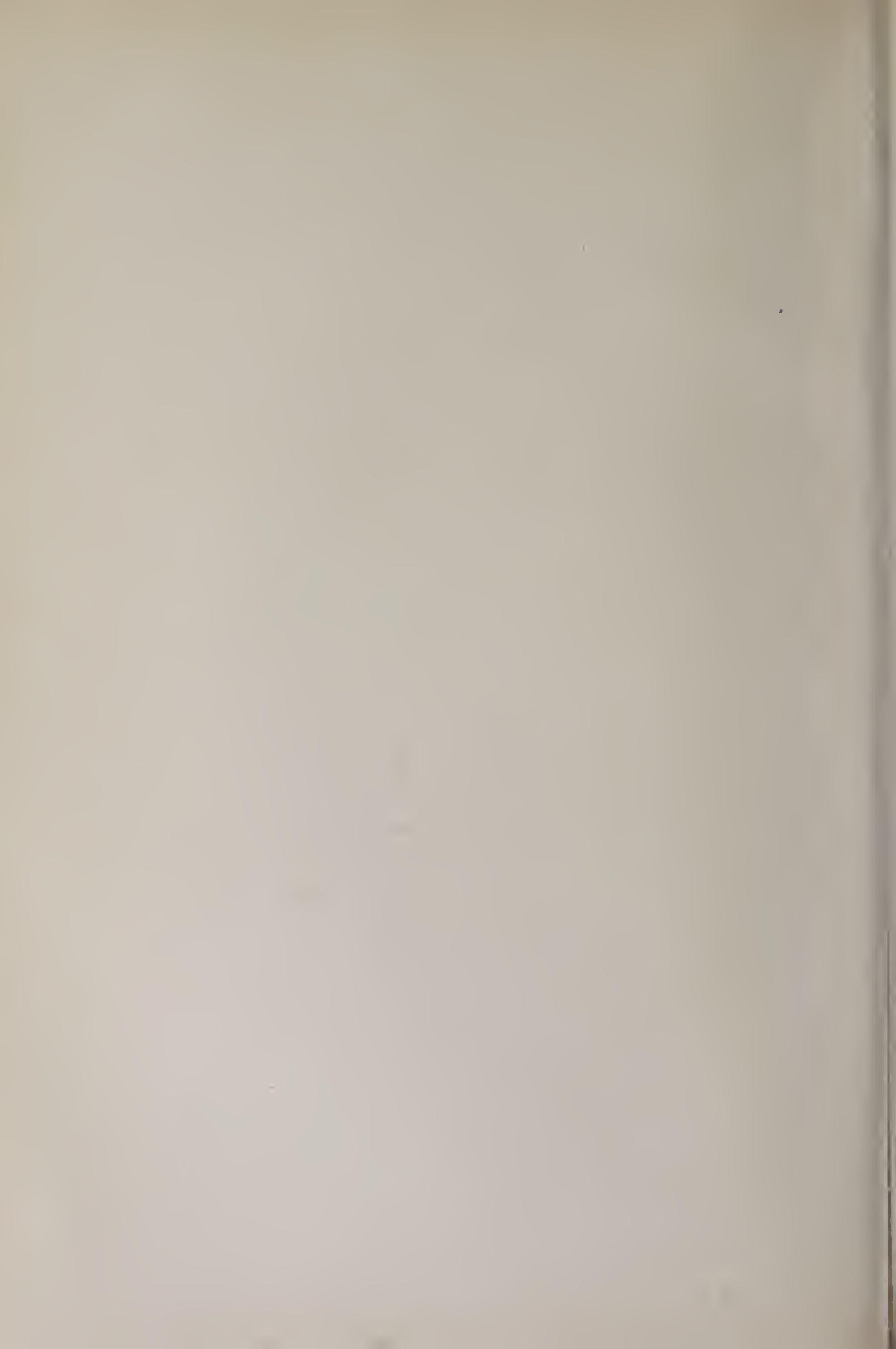
4. Sterngewölbe. Es ergeben sich hier ganz entsprechende Abwandelungen wie bisher, einige derselben sind in der Fig. 121 dargestellt. Man kann auch hier mehr die eine oder die andere Rippe oder schliesslich auch den Schildbogen belasten. Gleicher Schub von beiden Seiten der Rippen ist natürlich auch hier zu erstreben.

5. Netzgewölbe. Es kann wie bei vorigen Gewölbearten jedes einzelne Kappenstück für sich in mannigfacher Weise gebaucht sein (siehe linke und untere Seite von Fig. 122 und Fig. 123); oder es kann, wie schon an anderer Stelle besprochen ist, für das ganze Gewölbe eine gemeinsame gebogene Kappenfläche angenommen werden. Es pflanzt sich im letzteren Falle der Druck von Kappenfeld zu Kappenfeld direkt fort, ohne dass den Rippen eine besondere Bedeutung dabei zufällt. Die Flächenteilung würde bei langgestreckten Netzgewölben auf eine Parallelstreifung wie bei der Tonne hinauslaufen (Fig. 123 rechts); bei zentralen Netzwölbungen würde dagegen eine strahlenförmige Teilung (Fig. 122 rechts) von dem Mittelpunkte s ausgehen, die sich über alle Felder zieht mit alleiniger Ausnahme der äusseren Dreiecke, welche gewöhnlich nach den Schildbogen hin anzusteigen pflegen (Wipfelpunkt s_2 und s_3).

c. Die richtige Form der Kappen.

Die Zerlegung der Kappen in einzelne Streifen, die sich sonach nicht nach der Richtung der Steinschichten sondern nach der Gestalt der Kappen richtet, war sehr einfach durchzuführen, nunmehr handelt es sich darum, die zweckmässige Krümmung eines solchen Kappenstreifens festzustellen und den Widerlagsdruck, den er auf die ihn tragende Rippe ausübt. Die Wölbdicke der Kappen sucht man so gering wie irgend möglich zu machen, sie beträgt meist 10–15 cm,


Zerlegung der Kappen entsprechend der Druckrichtung.
117.
118.
119.
120.
121.
122.
123.
m
f
g
c
s
S2
S3



kann selbst noch weiter eingeschränkt sein. Soll nach der üblichen Annahme die Mittellinie des Druckes überall in dem mittleren Drittel der Wölbdicke liegen, so bleibt kein grosser Spielraum, d. h. mit anderen Worten, will man dünne Kappen wölben, so hat man sich an die theoretisch ermittelte Drucklinie mit der Wölbbiegung anzuschliessen; ganz besonders gilt das für tonnenartig gestaltete Kappen. Ein aus der Tonnenkappe senkrecht zu deren Scheitel geschnittener Parallelstreifen ist genau so zu behandeln wie ein ganz gewöhnlicher gemauerter Bogen, die Stützlinie findet man für ihn gerade so wie für diesen.

Ermittelung der Stützlinie.

Man zerlegt den Bogen oder den Kappenstreifen in eine beliebige Anzahl — z. B. elf gleicher Teile, für jeden Teil berechnet man sein Gewicht, welches im Schwerpunkte angreift und senkrecht nach unten gerichtet ist nach Massgabe der Linien 1—11 in Fig. 124. In einer besonderen Nebenfigur, dem Kräfteplane oder Kraftecke, trägt man die berechneten elf Gewichte senkrecht unter einander nach einem angenommenen Massstabe, hier z. B. 20 kg gleich 1 Millimeter. Es entsteht dadurch die Linie *A B*, welche das Gesamtgewicht des Bogens darstellt. Ist, wie im vorliegenden Falle, der Bogen symmetrisch gebildet und symmetrisch belastet, so legt man durch den Mittelpunkt *C* der Linie *A B* eine Horizontale, auf welcher die im Bogen auftretende Horizontalkraft *H* aufzutragen ist. Da diese von vornherein nicht genau zu ermitteln ist, giebt man ihr zunächst probeweise eine Länge *C P*. Vom Endpunkte *P*, dem Pole, führt man nach den Teilpunkten der Vertikalen *A B* verbindende Strahlen, welche mit den römischen Ziffern I bis XII bezeichnet sind. Angenommen *H* sei richtig gewählt, so stellen diese Linien die im Bogen von einem Teile zum andern sich fortpflanzenden Druckkräfte nach Grösse und Richtung dar, aus ihnen lässt sich sehr leicht das Druckpolygon oder Seileck konstruieren, was unterhalb des Bogens in Fig. 124b geschehen ist. Es wird hier zu jedem der Strahlen I bis XII eine Parallele gezogen in der Art, dass ein polygonaler Linienzug entsteht, dessen Ecken je auf einer der Vertikalen 1 bis 11 liegen. Eine Kraft IV, welche im Kräfteplane sich zwischen die Vertikalkräfte 3 und 4 setzt, liegt auch im Seilecke zwischen den Vertikallinien 3 und 4 usf.

Das so für das vorläufig angenommene *H* ermittelte Seileck kann man als Drucklinie oben in den Bogen eintragen (siehe *S R*), es zeigt sich in diesem Falle, dass die Linie viel zu flach ist; wenn sie im Bogen bleiben soll, muss sie steiler, bezw. mehr gekrümmt sein. Es wird das dadurch erzielt, dass man einen geringeren Horizontalschub *H* annimmt, denn es entspricht einem hohen Bogen ein kleiner, einem flachen Bogen ein grösserer Schub. Man nimmt daher im Kräfteplane ein kleineres *H* an durch Verlegung des Poles *P* nach *P'*. Für diesen Pol führt man dieselbe Konstruktion der Drucklinie durch und fährt nötigenfalls mit den Versuchen noch weiter fort, bis man die günstigste Drucklinie ermittelt hat, d. h. diejenige Drucklinie, welche sich möglichst wenig von der Mittellinie des Bogens entfernt (vgl. *U S' V* in der Abbildung). Man nimmt an, dass bei einem „in gutem Zustande befindlichen" Gewölbe der Druck bestrebt ist, sich nach der günstigsten Drucklinie fortzupflanzen, überhaupt hält man einen Bogen oder ein Gewölbe noch für haltbar, so lange noch eine befriedigende Drucklinie in ihm möglich ist. Näheres über die Konstruktion der Drucklinien siehe in den betreffenden Lehrbüchern, unter anderen in Müller-Breslau, Elemente der graphischen Statik.

Die eingezeichnete Drucklinie *U S' V* fällt im vorliegenden Falle nicht mit der Mittellinie des Bogens zusammen, sie liegt aber überall im mittleren Drittel, im Scheitel nähert sie sich bei *c* mehr der unteren Grenze dieses Drittels, am Widerlager dagegen berührt sie die äussere, ausserdem nähert sie sich den Grenzen noch in den Querschnitten *d e* und *f g* und zwar beim ersteren nach aussen, beim zweiten nach innen. Diese Stellen sind zu beachten, denn je mehr die Drucklinie sich aus der Mitte entfernt, um so ungleichmässiger verbreitet sich der Druck über den betreffenden Querschnitt. Nur wo die Drucklinie gerade durch die Mitte geht, wie bei *i k*, da bekommt der Bogen auf seinem ganzen Querschnitte gleichen Druck. (Wäre z. B. der Gesamtdruck nach Ermittelung durch den Kräfteplan an einer solchen Stelle 1000 kg, die Querschnittsfläche aber 800 qcm, so würde überall auf 1 qcm ein Druck von 1,25 kg zu rechnen sein.) Anders ist es beim Querschnitte *e d*, je mehr die Drucklinie sich der Aussenkante *d* nähert, um so stärker

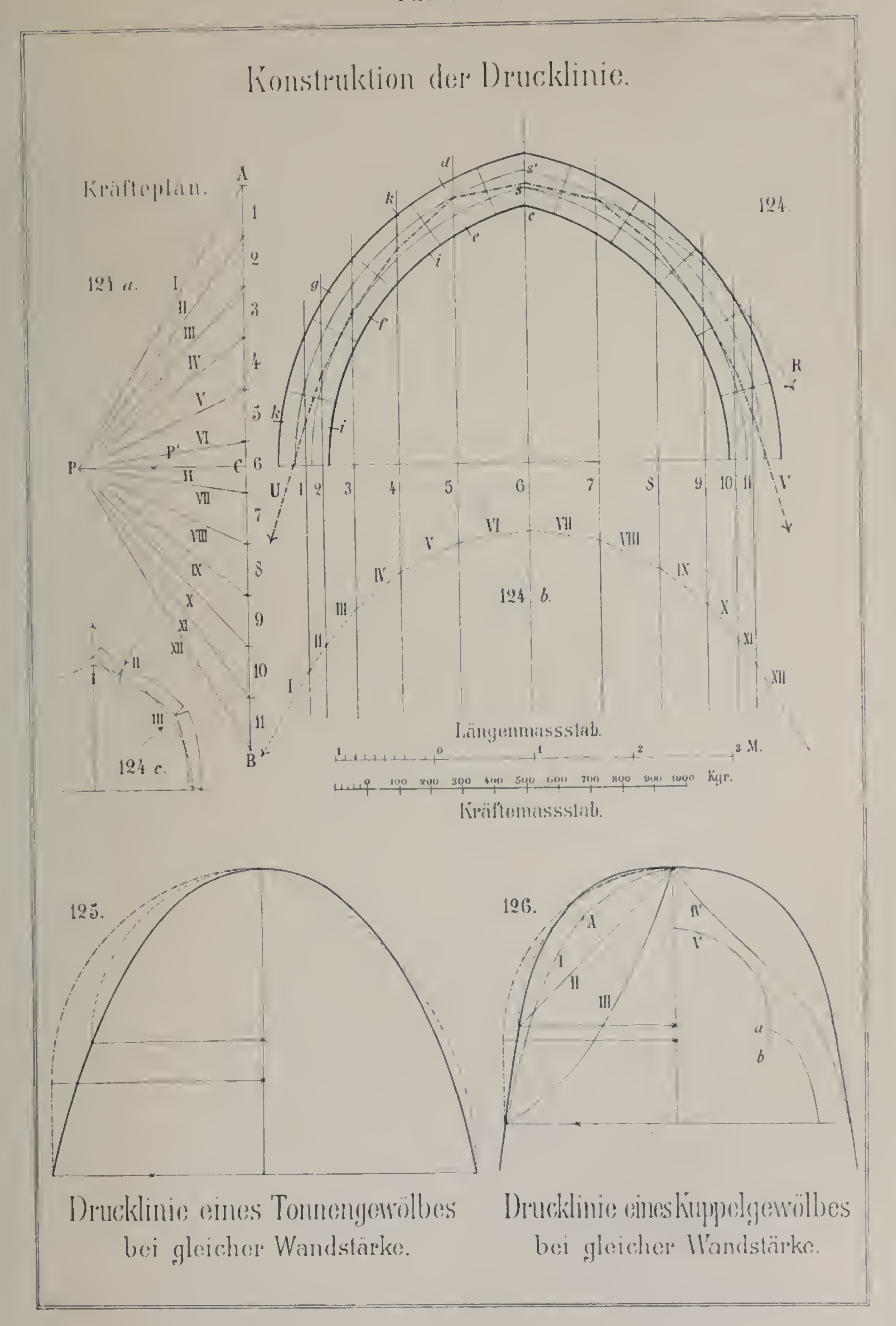
wächst der Druck an dieser Kante, während er bis zur inneren Kante e beständig abnimmt. Geht die Drucklinie gerade durch $^1/_3$ der Breite, so wird an der Aussenkante d ein Druck herrschen, der doppelt so gross ist als der Durchschnitt (also 2,5 kg statt 1,25 bei Annahme von 1000 kg Gesamtdruck und 800 qcm Fläche), an der Innenkante wird dann der Druck gerade gleich Null sein. Schiebt sich die Drucklinie noch mehr nach aussen, so wird sich an der Aussenkante der Druck rasch steigern, während an der Innenkante Zugkräfte auftreten. Können letztere vom Mörtel nicht geleistet werden, so tritt ein Öffnen der Fuge ein (ein Vorgang, den man an zahlreichen Gewölben oder Bogen beobachten kann). Würde gar die Drucklinie ganz aus dem Bogen hinaustreten, so würde, falls nicht der Mörtel Zug aushält, sicher ein Einsturz erfolgen. Die hierbei eintretende Bewegung ist in der Skizze 124c veranschaulicht, man sieht, wie sich an den gefährdeten Stellen die Fugen, die sog. „Bruchfugen", abwechselnd nach aussen und innen öffnen. Die Bruchfuge öffnet sich stets an der von der Drucklinie abgewandten Seite. Man erkennt ferner, wie wichtig es für „dünne" tonnenartige Kappen ist, dieselben möglichst genau der Drucklinie anzupassen, da schon geringe Abweichungen bedenklich werden können.

Stützlinie für Tonnengewölbe gleicher Wandstärke.

Ist die Beachtung der Drucklinie so wichtig, so fragt es sich, welches ist die eigentliche Gestalt derselben. Die in Frage kommenden Gewölbekappen werden fast immer in einer gleichmässigen Stärke, z. B. gleich einem halben Ziegelsteine, ausgeführt. Es ergiebt sich aber für tonnenartige Bogen bezw. Gewölbe von gleicher Stärke immer dieselbe ganz bestimmte Drucklinie, die sich auf dem soeben beschriebenen Wege graphisch ermitteln lässt, die aber auch analytisch bestimmt werden kann (siehe HAGEN, Form und Stärke gewölbter Bogen und Kuppeln). In Fig. 125 ist die Gestalt der Drucklinie dargestellt, sie ähnelt etwas einer Parabel, die unteren Schenkel würden bei „unendlicher" Verlängerung schliesslich in die vertikale Richtung übergehen. Ein „endliches" Stück dieser wie jeder anderen Drucklinie kann aber unten am Widerlager nie ganz vertikal sein, sondern wird stets eine gewisse Neigung nach aussen zeigen. Ist ein flacher Bogen auszuführen, so wird man nur den oberen Teil der Drucklinie zu verwenden haben, für hohe Bogen wird man ein Stück aus der Stützlinie herauszuschneiden haben, das soweit herabreicht, bis das erforderliche Verhältnis von Pfeilhöhe zu Spannweite erreicht ist. (Natürlich kann man die Form der Drucklinie als ähnliche Figur beliebig vergrössern oder verkleinern, jenachdem es die absolute Grösse des Gewölbes oder der etwaige Massstab der von dem Gewölbe zu fertigenden Zeichnung verlangt.)

Wird die Drucklinie nun mit den in der Praxis üblichen Bogenformen verglichen, so zeigt sich, dass ein sehr flacher Bogen keine erhebliche Abweichung von dem entsprechenden Stücke jener Linie zeigt, wohl aber ist dies bei hohen Bogen der Fall. Zum Vergleiche sind die gängigen Bogenformen als gestrichelte Linien in die Figur eingetragen, links der Halbkreis und der überhöhte Halbkreis, rechts der Spitzbogen. Man sieht, dass die beiden ersteren sehr ungünstig sind, sie entfernen sich sehr weit von der Stützlinie, selbst durch grosse Materialhäufung an den Widerlagern kann die Stützlinie ihnen nur um ein geringes näher gebracht werden. Soll die Drucklinie sicher ihren Platz in den Gewölben finden, so geben diese beiden Bogenformen stets ein schwerfälliges dickes Kappengemäuer. Unvergleichlich günstiger ist ein nicht zu schlanker Spitzbogen, dessen Vorzug besonders dem überhöhten Halbkreise gegenüber auffallend in die Augen springt, er weicht von der theoretisch richtigen Kurve unten ein wenig nach aussen, oben nach innen

Tafel XVI.



Konstruktion der Drucklinie.
Kräfteplan.
124 a.
124.
124 b.
124 c.
125.
126.
Längenmassstab.
Kräftemassstab.
3 M.
Kgr.
Drucklinie eines Tonnengewölbes
bei gleicher Wandstärke.
Drucklinie eines Kuppelgewölbes
bei gleicher Wandstärke.



ab, zeigt aber überall nur eine geringe Entfernung von derselben. Sobald man die gleichmässige Kappenbelastung nur um ein geringes ändert durch Hintermauerung der tiefsten Zwickel und durch Hinzufügen einer gewissen Scheitelbelastung, so ändert sich sofort die Stützlinie in der Weise, dass sie fast genau mit dem Spitzbogen zusammenfällt. Es steht eben keine einfache mit dem Zirkel geschlagene Bogenlinie der Stützkurve so nahe wie der Spitzbogen.

Spitzbogige Tonnengewölbe und Kappen.

127.

A B C D E F G H J K

$\frac{1}{2}h$ $\frac{1}{3}h$

Hier finden wir die Erklärung, weshalb man im XII. u. XIII. Jahrhunderte beim Einschränken der Wölbdicke so bereitwillig den Spitzbogen für die Kappen und somit auch für die Schildbogen und Gurte aufnahm. Selbst die frühzeitig von den Normannen eingeführte belastende First- oder Scheitelrippe findet somit neben ihrer praktischen auch eine konstruktive Begründung. Was wir theoretisch ermitteln können, hat das Mittelalter im zielbewussten Streben empirisch errungen.

Das Verhalten der Spitzbogen ist sehr verschieden nach ihrer Pfeilhöhe, besonders verlangen sehr hohe, schlanke Bogen Beachtung. Von den Bruchfugen I, II und III in Fig. 124c wird für

den niedrigen Spitzbogen mehr die untere III in Frage kommen, für den hohen mehr die obere I oder II. Beim Einsturze würde sich ein niederes Gewölbe nach der Skizze 127 *A*, ein hohes nach der Skizze *B* bewegen. Das niedrige ist statisch günstig, wenn die Scheitellast gering ist oder auch ganz fehlt, es ist bei ihm aber eine gute Hintermauerung (siehe Fig. 127 *C*) bis mindestens zu $^1/_3$ der Höhe, besser bis etwa zur Hälfte der Höhe erforderlich. (Beim Halbkreise am besten noch über die Hälfte.) Je schlanker der Bogen wird, um so wichtiger ist die Scheitellast, bei einem gleichseitigen oder 60 gradigen Spitzbogen (dem gleichseitigen Dreiecke umschrieben) wird sie zweckmässig schon zu $^1/_7$ bis $^1/_4$ des Bogengewichtes angenommen werden, es würde sich also schon ein schwerer Schlussstein oder beim Tonnengewölbe eine verstärkte Scheitellinie empfehlen.

Wird der Spitzbogen noch weit schlanker (Fig. 127 *D*), so wird er sich mit gleichmässiger „geringer" Wölbdicke überhaupt nur ausführen lassen, wenn der Schlussstein oder Scheitel stark belastet wird, nötigenfalls durch eine Übermauerung, die selbst bis zum Eigengewicht des übrigen Bogenteiles und darüber anwachsen würde. Die angemessene Grösse der Scheitellast ist sehr leicht durch versuchsweise Konstruktion der Stützlinie zu ermitteln. Wird sie in gebührender Grösse ausgeführt, so ist gleichzeitig eine feste Zwickelhintermauerung bis $^1/_3$ oder $^1/_2$ der Höhe am Platze, ist die Scheitellast aber zu knapp, so darf die untere Hintermauerung keinenfalls zu schwer werden, da sie sonst ein Hochdrängen der Bogenspitze befördern würde; bis zu ein Drittel der Höhe darf sie allerdings auch in diesem Falle meist unbedenklich hochgeführt werden, vorausgesetzt, dass sie gut einbindet.

Will man die Scheitellast umgehen, so giebt es für Bogen von übermässiger Pfeilhöhe nur die folgenden Auswege. a. Die Wölbdicke wird derart vergrössert, dass die Drucklinie sicher in ihr Platz findet, ein Mittel, das wohl am niedrigsten steht. — b. Der scharfe einspringende Winkel unter dem Scheitel wird ausgefüllt (vergl. Fig. 127 *E*). Gerade an dieser Stelle wird bei fehlender Scheitellast die Drucklinie am leichtesten unten aus dem Bogen treten, füllt man diese Stelle durch einen entsprechenden Schlussstein (*E*) (bezw. eine nicht zu schmale Scheitelrippe), so ist schon viel gewonnen. Auch das Einfügen eines Werkstückes mit langen Schenkeln wird schon helfen können (*F*), vorausgesetzt, dass es genügend fest ist, um bei der exzentrischen Lage der Drucklinie nicht zu zerbrechen. — c. Es wird eine günstigere Bogenlinie gewählt, als solche kann z. B. ein Spitzbogen in Frage kommen, dessen Schenkel unten mit einem grossen, oben mit einem kleineren Halbmesser geschlagen sind (Fig. 127 *G* und *K*, auch Fig. 49). — d. Der Spitzbogen wird aufgestelzt (Fig. 127 *H*, rechts). Es wird dadurch oben eine Krümmung erzielt, die besser mit der Drucklinie übereinstimmt, allerdings wird der Widerlagsschub grösser und höher angreifen. Der aufgestelzte Bogen ist in alter und neuer Zeit ein gutes und viel verwendetes Aushülfsmittel gewesen. Besser führt allerdings noch der soeben erwähnte zusammengesetzte Bogen zum Ziele, besonders wenn er mit noch mehr als zwei Halbmessern geschlagen wird; es entsteht dadurch eine bei grosser Pfeilhöhe auch dem Auge weit wohlthuendere Form als die des gewöhnlichen, an der Spitze stets hart wirkenden hohen Lanzettbogens. (Vergl. Fig 127 *J* und *K*.)

In jedem Falle wird das leicht ausführbare Einzeichnen der Drucklinie nach Fig. 124 darüber Aufschluss geben, welches Mittel am besten ist.

Richtige Form der Kuppeln und busigen Kappen.

Erfordern tonnenartige Kappen ein genaues Anlehnen an eine bestimmte Stützform, so ist dies weit weniger bei busigen Kappen der Fall, wie sich nachstehend ergeben wird. Bei der Tonne kann die zwischen je zwei Parallelstreifen auftretende Seitenkraft als Null angesehen werden, bei allseits gebogenen Kuppelflächen darf dagegen die zwischen zwei benachbarten Meridianstreifen auftretende gegenseitige Kraftäusserung nicht ausser acht bleiben, sie pflanzt sich in der Richtung eines horizontalen Ringes von Streifen zu Streifen fort und kann entweder eine Druck- oder eine Zugkraft sein. Ob Ringdruck oder Ringzug in der Kuppelfläche herrscht, hängt von der Gestalt derselben ab, es wird natürlich eine bestimmte Kuppelform möglich sein, bei der weder Druck noch Zug in der Ringrichtung auftritt, diese Form zu ermitteln ist von grossem Interesse. Wenn man

aus einer solchen Kuppel einen schmalen Meridianteil oder Spalt herausschneidet, so wird an dessen seitlichen Schnittflächen keinerlei Kraftäusserung auftreten können, d. h. solch ein gebogenes Dreieck wird selbständig stehen, sobald es nur oben am Scheitel und am Widerlagspunkte gehalten wird. Die Gestalt, welche diesem Spalt (und somit der Kuppel) zu geben ist, lässt sich auf graphischem Wege sehr leicht ermitteln, indem man ihn als einen ganz gewöhnlichen Mauerbogen betrachtet und für seine Belastung in der üblichen Weise die Drucklinie sucht. Es kümmert uns hier der Fall, in welchem wieder eine gleichmässige Wölbdicke für die Kuppel bezw. busige Kappe vorliegt. Die sodann entstehende Stützform ist in Fig. 120 gezeichnet; sie ist gleichfalls durch HAGEN am angegebenen Orte analytisch bestimmt. Kuppeln oder Busenkappen, welche diesen Querschnitt haben, zeigen weder Ringdruck noch Ringzug.

Zu bemerken ist, dass für die Nachbarschaft des Scheitels die Kurve nicht ganz richtig ist; hier muss stets Ringdruck auftreten, da die Meridianstreifen, die nach der Mitte zu schon auslaufen, mit ihrer Spitze keinen Horizontalschub übertragen können.

HAGEN empfiehlt in seiner Schrift (Über Form und Stärke gewölbter Bogen und Kuppeln, Berlin 1874, S. 54) den Querschnitt der Kuppel direkt nach der von ihm aufgefundenen, in Fig. 120 dargestellten Linie zu bilden; — wir möchten dem nicht zustimmen. Der Vorzug busiger Flächen besteht gerade in der Möglichkeit einer „allseitigen" Verspannung; wer den Ringdruck verschmäht, liesse einen grossen Vorteil aus der Hand gehen.

Wir möchten im Gegenteil als günstig gerade solche Kuppelflächen oder busige Kappen ansehen, die in jeder Höhe einen gewissen Ringdruck aufweisen. Bei derartigen Flächen können selbst bei bedeutenden Lastschwankungen nie Zugkräfte auftreten; für die Spannungen, welche in meridionaler Richtung nicht aufgenommen werden können, tritt der Ringdruck ein. Dadurch wird es möglich, eine busige Kappe auch bei Lastschwankungen sehr dünn zu halten, während ein Tonnengewölbe in solchen Fällen zur sicheren Aufnahme der Drucklinien eine Verstärkung fordert.

Unter diesen Gesichtspunkten sind beliebige Kuppelformen statisch als zulässig zu bezeichnen; so lange an keiner Stelle der Meridian- oder Ringdruck die durch die Festigkeit des Baustoffes gebotenen Grenzen überschreitet, so lange ist die Kuppel sicher. Zur Veranschaulichung sind die Querschnittsformen I bis V in die Figur 120 eingetragen.

I. Der als besonders günstig zu bezeichnende Querschnitt I ergiebt sich, wenn der Ringdruck von oben bis unten überall gleich gross ist; er ist in diesem Beispiele so gross wie der von oben nach unten wachsende Meridiandruck etwa an einer Stelle A.

II. Ein Kegel mit einem Winkel von 60° an der Spitze stellt sich als eine Kuppel dar, welche bei gleichmässiger Wanddicke in jeder beliebigen Höhe gleich grossen Ring- und Meridiandruck hat. Ein solcher Kegel übt zwar unten einen etwas grösseren Schub aus als der übrige Querschnitt, ist aber sonst eine gute Kuppelform. Desgleichen sind schlanke Kegel oder Pyramiden (Turmhelme) als statisch günstige Kuppeln anzusehen.

III. Eine eingebogene Kurve giebt in gewissen Grenzen eine statisch mögliche Kuppel. Unten wird aber der Ringdruck und der Widerlagsschub sehr gross und zwar um so mehr, je flacher hier die Kurve wird.

IV. Eine geschwungene Linie (orientalische Kuppel) kann sehr wohl ohne Zugringe oder Anker ausführbar sein, falls sie sich an keiner Stelle zu sehr nach aussen rundet und an keiner Stelle sich zu sehr der Senkrechten oder Horizontalen nähert. Dagegen sind zwiebelartig nach unten eingezogene Kuppeln ohne besondere Sicherung gegen Zug nicht möglich und daher als Wölbung widersinnig.

V. Am auffallendsten tritt die Wirkung des Ringdruckes in dem Diagonalschnitte der Zwickelkuppel (Kurve V) zu Tage. Trotz des nach innen gerichteten Knickes ist die Kuppel ausführbar und zahllos oft ausgeführt. Von Vorteil ist es, die Richtung a b über der Knickstelle von der

Vertikalen etwas fern bleiben zu lassen, was die Byzantiner geschickt durch kleine Verdrückungen in der Form erreichten.

Ähnliche Wirkungen ergeben sich, wenn die Kuppel oben eine schwer lastende Laterne trägt, es tritt unter der Basis der Laterne ein gewaltiger Ringdruck auf, der aber um so geringer wird, je steiler die Kuppellinie gegen die Laterne anfällt.

Zum Vergleiche sind auch die gängigen Wölblinien, rechts der Spitzbogen, links der einfache und überhöhte Halbkreis in die Abbildung eingetragen. Man kann etwa annehmen, dass sie dort Druck bekommen, wo sie innerhalb der HAGEN'schen Linie liegen, dass dagegen in den darüber hinausschneidenden Teilen Ringzug auftritt. Sehr ungünstig ist demnach der überhöhte Halbkreis, gleichfalls recht unvorteilhaft der einfache Halbkreis, bezw. die Halbkugel, welche bis reichlich $^3/_5$ der Höhe Zug bekommt, der sich nur durch eine entsprechend hohe Hintermauerung oder eine entsprechende Verstärkung des unteren Kuppelteiles beseitigen lässt, wenn nicht zu eisernen Ringen gegriffen werden soll. Ein schlanker Spitzbogen ist viel vorteilhafter, er erfordert nur im unteren Stücke eine Hintermauerung.

Im allgemeinen sind unten in die Senkrechte übergehende Linien nicht günstig, wählt man sie, so muss aussen eine zur Aufnahme des Druckes nötige Verstärkung vorausgesetzt werden, das innere untere Mauerwerk ist dann eine einfach füllende Masse.

Vorstehendes wird hinlänglich erläutert haben, welche grosse Ungebundenheit die allseits gekrümmte Fläche gegenüber der Tonne zeigt; in der Bevorzugung busiger Kappen zeigt daher das Mittelalter wieder in wunderbarer Weise sein feines, gleichzeitig praktisches und statisches Gefühl. In praktischem Sinne begünstigt die busige Kappe das freihändige Wölben, in statischer Hinsicht erlaubt sie die Einwölbung äusserst dünner Kappen in ziemlich willkürlichen Formen, die selbst bei starken Lastverschiebungen oder Verdrückungen immer noch stabil bleiben.

d. Die Gestalt der Rippen.

Druck der Kappen auf die Rippen.

Die letzten Betrachtungen galten der Form der Gewölbekappen, fast noch wichtiger als diese aber ist der Widerlagsdruck, den jeder Streifen der Kappe an seinen Enden auf die ihn stützenden Rippen oder Stirnbogen ausübt. Hat man für den Kappenstreifen die Drucklinie ermittelt, so sind damit zugleich seine Endkräfte gefunden, man kann zu letzteren aber auch annähernd genau gelangen, wenn die etwas weitschweifige Konstruktion der Drucklinie nicht geboten erscheint.

Betrachtet man einen Kappenstreifen als ein geschlossenes Ganzes, so kommen gewöhnlich nur drei Kräfte in Frage, das Gewicht und die beiden Widerlagskräfte. Das Gewicht (G in Fig. 128), das natürlich senkrecht durch den Schwerpunkt zu legen ist, kann man sich berechnen, es setzt sich zusammen aus dem Eigengewichte des Bogens und der etwa darauf ruhenden Oberlast. Die Richtung der Widerlagskräfte W_1 und W_2 muss ziemlich genau mit der Richtung der Bogenenden (oder deren Tangenten) zusammenfallen, da die meist sehr dünnen Kappen den in ihnen liegenden Druckkräften keinen grossen Spielraum gestatten, ausserdem müssen die Widerlagsdrücke durch einen gemeinsamen auf der Linie O liegenden Schnittpunkt

O gehen. Danach kann man annähernd genau die mutmassliche Lage der Kräfte in die Zeichnung eintragen. Sollte eine solche Lage nicht gut zu erreichen sein, so ist darin der Beweis zu erblicken, dass die Kappen eine statisch ungünstige Form haben, also geändert werden müssen (vergl. Fig. 128a). Hat man die Richtung der Widerlagskräfte angenommen, so findet man ihre Grösse dadurch, dass man die Kraft G einfach nach dem Parallelogramme der Kräfte zerlegt.

Grösse und Richtung der Widerlagsdrücke stehen in direkter Abhängigkeit zu der Richtung der Kappe, wie Fig. 129 veranschaulicht. Es ist hier von der Rippe A zur Rippe B ein Kappenstreifen hinüber zu spannen, welchem man die Lagen *I*, *II* und *III* geben kann, die diesen Lagen zugehörigen Endkräfte sind durch Pfeile mit den entsprechenden Ziffern kenntlich gemacht. Man sieht, ihre Richtungen gehen weit auseinander; um gleichzeitig ihre Grössenunterschiede klarzulegen, sind in den Figuren 129a bis 129c Kraftzerlegungen für die drei Fälle vorgenommen. Zunächst ist das für alle drei Fälle gleich vorausgesetzte Gewicht G in die Widerlagsdrücke W_1 und W_2 zerlegt, und diese sind an den Auflagerpunkten wieder je in eine horizontale Seitenkraft (H_1 bezw. H_2) und eine vertikale Kraft (V_1 bezw. V_2) zerteilt. Erstere ist der Seitenschub, welchen die Rippe bekommt, letztere die senkrechte Belastung der Rippe. In horizontaler Richtung treten nur die Kräfte H_1 und H_2 auf, dieselben müssen sich daher das Gleichgewicht halten, also gleich gross sein. In vertikaler Richtung muss die algebraische Summe der Auflagerdrücke V_1 und V_2 gleich der Kappenlast G sein. Die grosse Verschiedenheit der Schübe und Auflagerdrücke tritt aus den Figuren schlagend hervor.

Im ersten Falle, also bei sehr stark gekrümmter Kappe, ist der Schub gering, die senkrechte Last verteilt sich auf die beiden Rippen A und B.

Im zweiten Falle, d. h. bei mässig gekrümmter Kappe, ist der Schub schon grösser, die senkrechte Kraft fällt hier nur dem Auflager A zu (also $V_1 = G$ und $V_2 = O$), da das obere Ende der Kappe wagerecht gegen die Rippe B trifft.

Im dritten Falle, bei ganz flacher Kappe, wird der Horizontalschub sehr gross. Bezüglich der Auflagerdrücke tritt hier eine wohl zu beachtende Eigentümlichkeit auf, der Druck V_2 ist nämlich nach oben gerichtet, während der Druck V_1 auf die untere Rippe um V_2 stärker ist, als die Kappenlast G (denn $V_1 - V_2 = G$). Dieser Fall wird stets eintreten müssen, wenn das eine Ende eines Bogens oder Gewölbes schräg nach oben weist, es kann dieses Ende keinen nach unten gerichteten Druck auf das Widerlager bringen, es sucht vielmehr das Widerlager nach oben zu treiben. Im vorliegenden Falle wird die Rippe B nicht von der Kappe belastet, sondern sie wird von ihr getragen oder auch nach oben hinausgedrängt, wenn sie nicht schwer genug ist, die aufstrebende Kraft durch ihr Gewicht auszugleichen.

Die Horizontalkraft tritt natürlich ganz unbeirrt auch an dem nach oben gerichteten Bogenende auf, wie überhaupt der Schub weniger von der Richtung der Bogenenden als von der Stärke der Krümmung oder dem Pfeilverhältnisse des Bogens abhängt. Je flacher und schwerer der Bogen, um so grösser wird sein Schub, das gilt allgemein, mögen die Widerlagspunkte zu einander liegen wie sie wollen.

Man hat es nach Fig. 129 in weiten Grenzen in der Hand, durch entsprechende Wahl der Kappenkrümmung die Grösse des Schubes nach Bedürfnis zu regeln, ein Umstand, der die höchste Bedeutung für die Wölbrippen hat. Letztere sind so schmal, dass sie bei einem starken, einseitigen Schube sofort seitlich ausbauchen würden, es muss sich daher der Schub der beiden Kappen in der Richtung quer zu der Rippe aufheben. Wenn z. B. eine Rippe A (Fig. 130) von der linken Seite durch eine grosse, schwere Kappe sehr stark seitwärts gehoben wird, so würde es sehr fehlerhaft sein, rechts eine leichte, stark gekrümmte Kappe anzuschliessen, sie würde durch das Übermass an Wölbschub von der anderen Kappe nach oben hinausgedrängt. Es muss vielmehr die rechtsseitige Kappe sehr flach oder nötigenfalls künstlich belastet sein, damit sie einen gleich grossen Schub liefern kann, der natürlich auch an dem anderen Widerlager C auftritt (Fig. 130a). Derartige Rücksichten können z. B. nötig werden für die seitliche Stichkappe eines Netz- oder Sterngewölbes.

Durch Ausbildung einer nahezu geradlinigen Drucklinie kann die Kappe AC den Charakter einer Spreize annehmen, sie kann also bei flacher Form sehr bedeutende Schubkräfte von A nach C hinübertragen. Durch Einfügung verstärkender Rippen kann man sie noch mehr zur Spreize geeignet machen.

Wenn die kleinere Kappe in der Schubrichtung AC zu busig, dagegen im Grundrisse gesehen in irgend einer „schrägen Richtung“ flach genug ist, so wird sich der überwiegende Schub nach dort lenken und dadurch abgefangen werden können.

Biegung der Rippen.

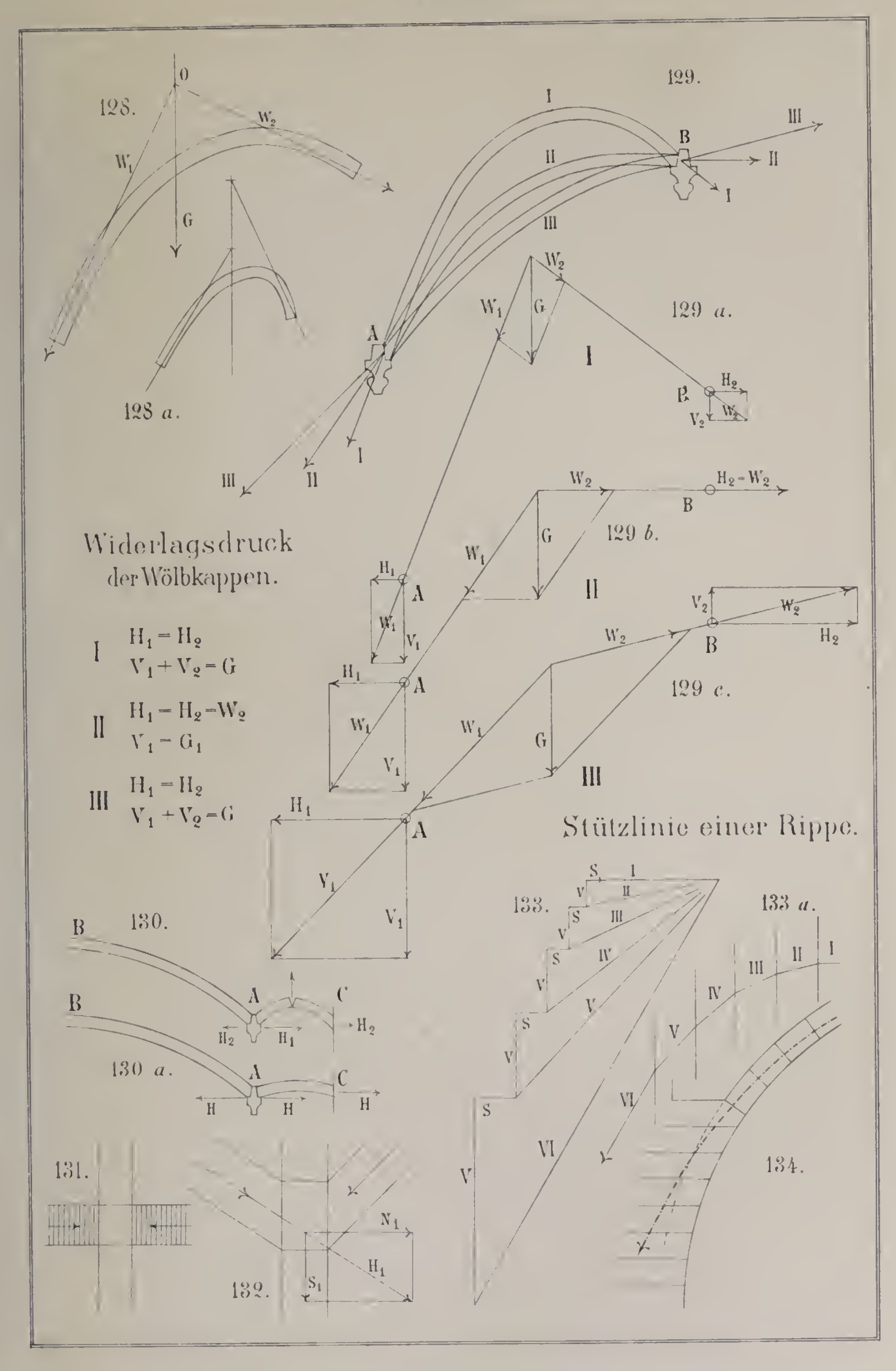
Es ist bisher zuerst die Form der Gewölbekappen behandelt, sodann ist eine Ermittelung der Kräfte vorgenommen, welche die Kappenteile auf die Rippen ausüben, es erübrigt jetzt nur noch, aus diesen Kräften die richtige Form der Rippen abzuleiten.

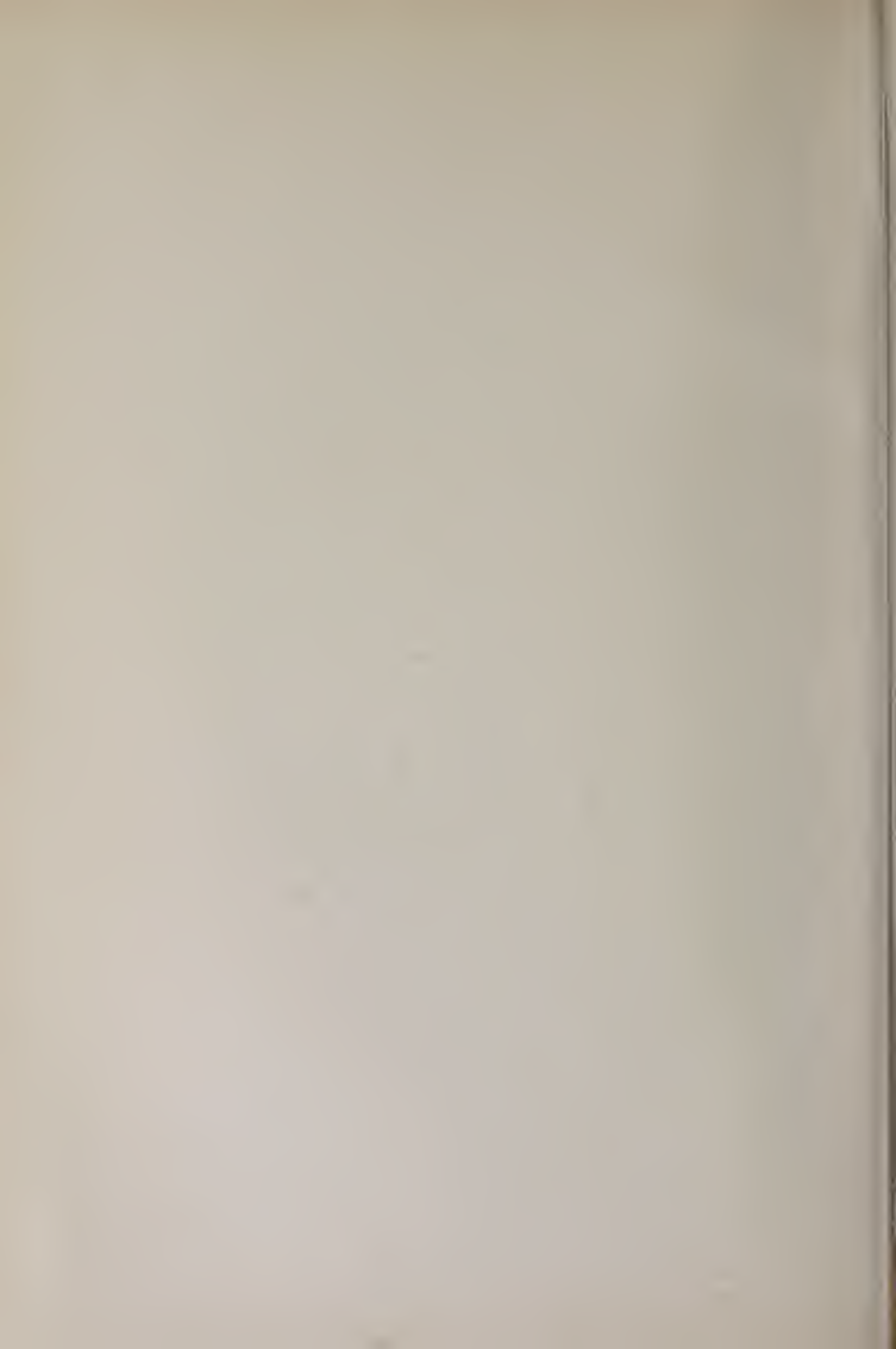
Am einfachsten würde dies möglich sein, wenn die Rippe von Kappenstreifen belastet würde, die im Grundrisse gesehen (Fig. 131) beiderseits senkrecht auf die Rippe stossen. Jeder Streifen überträgt nach Fig. 129a usw. auf die Rippe einen Horizontalschub H und einen Vertikaldruck V. Die Horizontalschübe heben sich in Fig. 131 bei richtiger Konstruktion von beiden Seiten auf, es bleiben also nur die Vertikalkräfte der beiden Streifen übrig, die sich addieren und verbunden mit dem Eigengewichte des betreffenden Rippenstückes dessen Gesamtlast ausmachen. Alle Rippenstücke bekommen in dieser Weise ihre zugehörigen Vertikallasten, aus denen man auf einfache Art genau so, wie es in Fig. 124 gezeigt ist, die Stützlinie für die Rippe konstruiert und zugleich die richtige Rippenkrümmung ermittelt, der man die Rippenform anpasst, so weit es möglich ist.

Dass die belastenden Kappenstreifen gerade senkrecht gegen die Rippe treffen, ist, wie die Figuren 116 bis 121 ausweisen, selten anzunehmen, meist werden die Streifen schräg einmünden Fig. 132. Jedes der beiden Streifenenden übt wieder einen senkrechten Auflagerdruck und einen Schub aus, die beiden senkrechten Kräfte geben wieder zusammen mit dem Eigengewichte des Rippenstückes dessen Vertikalbelastung V.

Der Horizontalschub eines Rippenendes H_1 in Fig. 132 trifft aber schräg gegen die Rippe, er ist noch zu zerlegen in eine Kraft N_1 senkrecht zur Rippenebene und in eine Schubkraft S_1, welche wagerecht in der Rippenebene liegt. Die

Tafel XVII.


128.
128 a.
129.
129 a.
129 b.
129 c.
Widerlagsdruck
der Wölbkappen.
I $H_1 = H_2$
$V_1 + V_2 = G$
II $H_1 = H_2 = W_2$
$V_1 = G_1$
III $H_1 = H_2$
$V_1 + V_2 = G$
Stützlinie einer Rippe.
130.
130 a.
131.
132.
133.
133 a.
134.



Kraft N_1 muss sich mit der entsprechenden Seitenkraft vom anderen Streifenende aufheben, die Kraft S_1 dagegen vereinigt sich mit der entsprechenden Kraft des anderen Kappenstreifens zu einem gemeinsamen Schube S, der das Rippenstück fortzubewegen sucht. Auf jedes Rippenstück wirken jetzt also zwei Kräfte, die Vertikallast V und der Schub S. Trägt man den Kräfteplan für einen Rippenast auf, so bekommt derselbe ein treppenartiges Aussehen, im übrigen zeigt die Konstruktion der Drucklinie keine Abweichung (vergl. Fig. 133 bis 134).

Dieser Drucklinie muss sich die Form der Rippe möglichst anpassen, was allerdings schwerlich ganz zu erreichen ist, da, wie die Skizze 134 zeigt, die Drucklinie unten sich nicht der Senkrechten nähert, sondern ziemlich flach bleibt. Die Ellipse des römischen Gewölbes ist für den Grat recht ungünstig, der Halbkreis und der Spitzbogen sind schon wegen ihrer grösseren Pfeilhöhe vorteilhafter, noch besser würde ein unten schräg ansetzender Spitzbogen (hoher Knickbogen) oder natürlich ein der Drucklinie genauer angepasster Bogen sein. Bei niederen Gewölben ist ein Flachbogen günstig, der wie die Stützlinie schräg ans Widerlager schneidet aber stark schiebt. Jedenfalls ist es wichtig, den Rippenanfänger unten sehr fest mit dem Widerlager zu verbinden, damit die Drucklinie ganz unbeschadet schon höher über dem Widerlagspunkte das Rippenprofil verlassen und von der Hintermauerung sicher aufgenommen werden kann. Bei Werkstein sind grosse durchbindende Anfängersteine am Platze, bei Ziegelstein müssen die Zwickel gleich in möglichst festem Verbande mit hochgenommen und event. mit Zementzusatz gemauert werden. Ein leichtfertiges, nachheriges Ausfüllen der tiefsten Zwickel ist sehr bedenklich.

Sicherung des Rippenanfanges. Hintermauerung.

Die so wichtige Frage, wie weit man mit der Hintermauerung der Zwickel hinaufzugehen habe, lässt sich schwer allgemein beantworten, für wichtige Fälle empfiehlt es sich, die Drucklinie unter Berücksichtigung des Zwickelgewichtes aufzutragen. Als ungefähren Anhalt kann man annehmen, dass man bei den elliptischen Graten des römischen Gewölbes unbeschadet bis zwei Drittel der Höhe ausmauern kann, während man sich bei Rund- und Spitzbogen mit $^1/_3$ bis $^1/_2$ begnügt. Bei schlanken Spitzbogen darf man die Ausmauerung nicht zu hoch treiben, da sonst der Scheitel des Bogens in die Höhe gedrängt wird. (Vergl. auch Fig. 127 nebst dem dazu gehörigen Texte.) Bis zu $^1/_3$ der Höhe ist eine gut durchbindende Zwickelmauerung aber immer zulässig.

Druck auf den Querschnitt.

Soll das Gurt- oder Rippenprofil zum thatsächlichen Träger des zusammenfliessenden Druckes werden, so muss die Stützlinie in ihm ein gesichertes Unterkommen finden, überdies darf in keinem Querschnitte der Rippe die Druckpressung zu gross werden. Als zulässigen Druck auf ein Quadratcentimeter Fläche kann man annehmen bei guten (nicht porösen) Ziegeln in Kalkmörtel 7 Kilogramm, bei sehr festen Ziegeln in Zement etwa 11 Kilogramm, bei Werkstein in gutem Mörtel oder Blei versetzt bis 20 Kilogramm und darüber. Da der Mörtel aber beim Zuwölben erst wenig erhärtet ist, nimmt man besser kleinere Beanspruchungen. Eine gleichmässige Druckverteilung über die ganze Querschnittsfläche darf, wie gesagt, nur vorausgesetzt werden, wenn die Drucklinie gerade durch den Mittelpunkt des Querschnittes geht, rückt sie unten an die Grenze des mittleren Drittels (richtiger

an die Grenze des Querschnittkernes), so ist der Druck an der unteren Kante doppelt so gross als der Durchschnittsdruck, wird aber der Druck noch mehr exzentrisch, so steigert sich die Kantenpressung noch weit mehr. (Über die Verteilung des Druckes über den Querschnitt siehe hinten Widerlager, Fig. 375—386.) Es darf natürlich auch an der am meisten gedrückten Kante der Druck auf ein Quadratcentimeter die angegebenen Ziffern nicht überschreiten. Wenn die Drucklinie sich der oberen Grenze des Profiles nähert, so ist das weniger bedenklich, da dann die benachbarten Kappenteile mit zur Druckübertragung herangezogen werden. Bei sehr kleinen oder ganz fehlenden Rippen haben die der Gratkante benachbarten Kappenteile die Druckübermittelung ganz auf sich zu nehmen; bei grösseren Gewölben ist in solchen Fällen eine verstärkende Übermauerung auf dem Rücken des Grates geboten (vergl. hinten Fig. 324), die aber auch bei Vorhandensein von Rippen nötig werden kann.

Beispiel: Druck in einem rechteckigen Kreuzgewölbe.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen sei als Beispiel kurz der Weg skizziert, der bei der Kräfteausmittelung für ein rechteckiges Kreuzgewölbe mit geraden Scheiteln einzuschlagen wäre. Die Kappen eines solchen Gewölbes haben eine tonnenartige Gestalt, sind daher senkrecht zu ihrer Richtung in Parallelstreifen zu zerlegen (siehe Fig. 135). Ein Rippenstück *m n* würde von den beiden Streifenhälften *m n c d* und *m n b a* belastet werden. Will man die Aufrissform dieser Streifen prüfen, so kann man für sie die Drucklinie konstruieren, sonst kann man sich damit begnügen, ihre Auflagerdrücke auf vereinfachte Weise nach Massgabe der Figuren 128 und 129 zu ermitteln. Die Grundflächen der beiden Streifen sind bei rechteckigen Gewölben gleich gross, infolgedessen wird bei gleicher Kappenstärke auch ihr Gewicht ziemlich gleich sein, sie liefern mithin für das Rippenstück etwa gleich grosse Vertikaldrücke. Die Horizontalkräfte sind dagegen verschieden, und zwar überwiegt diejenige des längeren Streifens. Bei gleicher Scheitelhöhe, gleicher Stärke und einer der Stützlinie nicht zu unähnlichen Ausbildung beider Kappen wird sich aber die Grösse der Schübe verhalten wie die Grösse der vorliegenden Rechteckseiten, was zur Folge hat, dass die Mittelkraft aus beiden Schüben in die Richtung der Rippe fällt. Somit wird ein seitliches Ausbauchen der Rippe bei derartigen rechteckigen, natürlich auch quadratischen Feldern nicht zu fürchten sein. (Würde der Schub gegen die Rippe von einer Seite überwiegen, so würde das für gewöhnliche Kreuzgewölbe übrigens gar nicht so ängstlich sein, da fast immer eine flachere Richtung in der Kappe aufzufinden ist, die das Geschäft der Absteifung übernehmen könnte.) Aus den Vertikallasten und Schüben der einzelnen Rippenstücke konstruiert man nach Fig. 133 die Drucklinie für die Rippe und ermittelt damit auch den Schub des ganzen Gewölbes auf die stützenden Mauerkörper.

135.

Wenn im vorstehenden den statischen Anforderungen an die Gewölbebildung ein gewisser Platz eingeräumt ist, so soll damit weniger bezweckt sein, den Baumeister zu einer genauen Kräfteausmittelung für „jedes" auszuführende Gewölbe anzuspornen; vielmehr soll er zunächst in den Stand gesetzt werden, sich von den jeweiligen Kräften, die er in seinem Gewölbe zu gewärtigen hat, eine richtige Vorstellung zu machen, die ihn vor Fehlschritten bewahrt.

Die Gesamtgestalt reicher Rippengewölbe und das Austragen der Rippenbogen.

Die Aufrissgestaltung der Rippen eines gewöhnlichen Kreuzgewölbes hat bereits in einem besonderen Kapitel Erledigung gefunden, hier handelt es sich um die reicheren Stern- und Netzbildungen. In welcher Weise den statischen Forderungen Rechnung zu tragen ist, wurde soeben entwickelt, es trat dabei besonders der Unterschied zwischen den festgeknüpften, freiere Aufrissbildung gewährenden Sterngewölben und den beweglichen an eine einheitliche Gesamtform gebundenen Maschensystemen der Netzgewölbe hervor. Die frühere Gotik nutzte die grössere Unabhängigkeit ihrer Sternformen aus, sie legte die seitlichen Schlusspunkte bald höher, bald tiefer als den mittleren und liess die Kappen bald nach der Mitte, bald nach aussen steigen, ganz nach dem jeweiligen Bedürfnisse, soweit es die Ansprüche des Gleichgewichts gestatteten. Die späteren Netzformen mussten sich aus statischen Gründen mehr einheitlich gebogenen Gesamtformen anbequemen, an die man sich um so mehr anklammerte, je mehr man sich ausser stande sah, die immer kompliziertere Kräfteführung klar zu überblicken. Die Sterngewölbe wurden, wenn auch unnötig, mit in diesen Entwicklungsgang gezogen, so dass die meisten späteren Wölbungen eine ausgesprochene Gesamtgestalt zeigen. Für dieselbe finden sich besonders die folgenden Typen vorherrschend:

Allgemeine Formen.

1. tonnenartig geformte Rippengewölbe, die sich über langen Räumen forterstrecken, Fig. 136,
2. aus Zusammenschnitten von Flächen gebildete Gewölbe, z. B. die Gestalt der gewöhnlichen Kreuztonne, Fig. 137,
3. kuppelartig gebogene Rippengewölbe, Fig. 138,
4. Fächergewölbe, Fig. 139.

Fächergewölbe.

Die grössere Beachtung verdienen die beiden letzteren, von denen das Fächergewölbe vorangestellt werden soll. Bei ihm liegen alle Rippen auf einer Umdrehungsfläche um die senkrechte Pfeilerachse. Dieser ganz besonders von der englischen Gotik bevorzugten, aber auch sonst weit und breit anzutreffenden Gewölbebildung liegt nichts weiter zu Grunde als das berechtigte Streben, den Gewölbeanfang so gesetzmässig wie möglich zu gestalten. Es wird dadurch erzielt, dass zunächst der Unterschied zwischen Gurtbogen und Rippen fortfällt, sodann alle Rippen mindestens in ihrem unteren Teile kongruent gebogen sind und schliesslich die Grundrisswinkel zwischen je zwei benachbarten Rippen möglichst einander gleich sind. Werden diese schon aus Gründen der leichten Herstellung gebotenen Vorschriften beachtet, so entsteht das Fächergewölbe ganz von selbst, gleichviel ob ihm das Kreuz-, Stern- oder Netzgewölbe zu Grunde liegt. Je mehr Rippen zusammentreten, um so mehr tritt ihr regelmässiges fächer- oder palmenartiges Auseinanderwachsen hervor, zum vollendetsten Ausdrucke gelangt die ganze Rippenentfaltung immer über einer freistehenden Säule.

Jeder Horizontalschnitt liefert einen Kreisring, auf dem die Rippen liegen (Fig. 140). Die Kappen zwischen je zwei Rippen werden der Regel nach aus liegenden Schichten (mit gleich hoch liegenden Endpunkten) gewölbt. Eine Schicht kann ebensowohl gebogen als geradlinig sein. (Fig. 140a und 140b.)

Wird in dem Fächergewölbe Fig. 141 mit *a m* ein Kreis geschlagen, so müssen die Punkte *n, o, p* usw. auf einer Höhe liegen, die Rippen steigen aber noch weiter über diese Punkte hinaus bis *e, d, c*. Der Punkt *c* wird naturgemäss am höchsten zu liegen kommen, die Scheitellinie *m c* steigt daher in geschweiftem Bogen von *m* nach *c*, wie der Schnitt 141a zeigt. Ist der Diagonalbogen *a c b* spitz (Fig. 141 b), so bilden die Rippenäste *a m*, *a e* usw. Stücke dieses Spitzbogens und sind danach sehr einfach in ihrer richtigen Gestalt ausgetragen. Ist statt dessen die längste Rippe ein Halbkreis (Fig. 141 c), so werden die Höhenunterschiede der Punkte *m, e, d, c* sehr gering, es wird infolgedessen der Scheitel nur eine unbedeutende Wellung erhalten. Es kann ein Grund vorliegen, die Wellung des Scheitels ganz zu meiden, denselben völlig horizontal zu machen. Die englische Gothik hilft sich in solchen Fällen, wie schon bei Fig. 48 gezeigt, durch Bogen, die je aus zwei Radien geschlagen sind, es sind dann die Rippen nur in ihrem unteren Stücke kongruent.

Eine besondere, der spätesten Zeit angehörende Bildung ist noch zu erwähnen, bei welcher die gleich gebildeten Rippen oben in einander berührenden Horizontalkreisen abschliessen. Die zwischen den Kreisen bleibenden viereckigen Zwickelfelder sind entweder mit einer Steinplatte oder auf eine andere gekünstelte Art geschlossen.

Beim Fächergewölbe liegt der Schwerpunkt auf der Schönheit des Gewölbeanfängers, die Bildung des Scheitels tritt dagegen zurück. Man kann umgekehrt eine günstige Ausbildung der Wölbmitte in die erste Linie stellen und dieser die Widerlagsbildung unterordnen, man wird dann vorwiegend auf die drei Formen 136, 137, 138 angewiesen sein.

Tonnenartige Netzgewölbe.

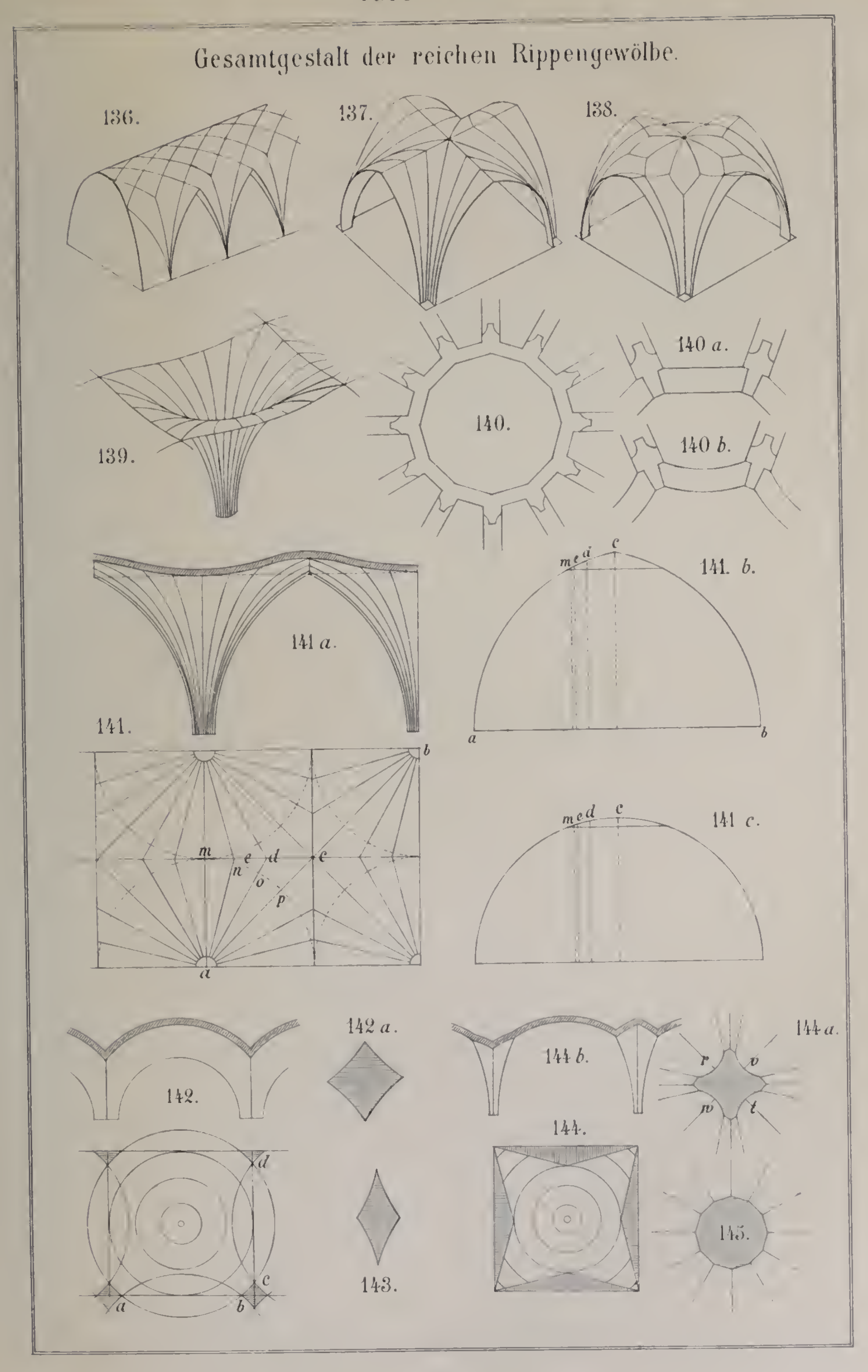
Das tonnenartige Netzgewölbe fand gewöhnlich über langgestreckten Räumen Verwendung. Dichte Rippennetze unterliegen ihrer Gesamtgestalt nach ähnlichen statischen Anforderungen, wie einfache glattflächige Gewölbe, demnach würde der günstigste Querschnitt eines solchen Netzgewölbes etwa zusammenfallen mit der Drucklinie für ein gewöhnliches Tonnengewölbe gleicher Kappenstärke, in Fig. 125 ist diese Kurve dargestellt. Die Form des Gewölbes pflegte man in der Weise zu bestimmen, dass man die schräg laufenden Rippen nach einer gängigen Bogenlinie austrug, nach einem Spitzbogen, Halbkreise oder irgend einem gedrückten Bogen. Der Querschnitt der Tonne wurde daher die schmälere Projektion eines solchen Bogens, aus dem Halbkreise entstand die aufrechtstehende Ellipse, aus dem Spitzbogen ein spitzer Schnitt zweier Ellipsenäste. Diese Projektionen nähern sich der richtigen Stützlinie weit mehr als ihre erzeugenden Linien selbst, somit haben die gestreckten Netzgewölbe der Spätgotik eine statisch viel günstigere Gestalt als die Tonnengewölbe der römischen und romanischen Zeit, ein Umstand, der allerdings nach den Ausführungen von Seite 54 durchaus erforderlich war, wenn man überhaupt daran denken wollte, tonnenähnliche Gewölbe mit geringem Materialverbrauch aufzuführen.

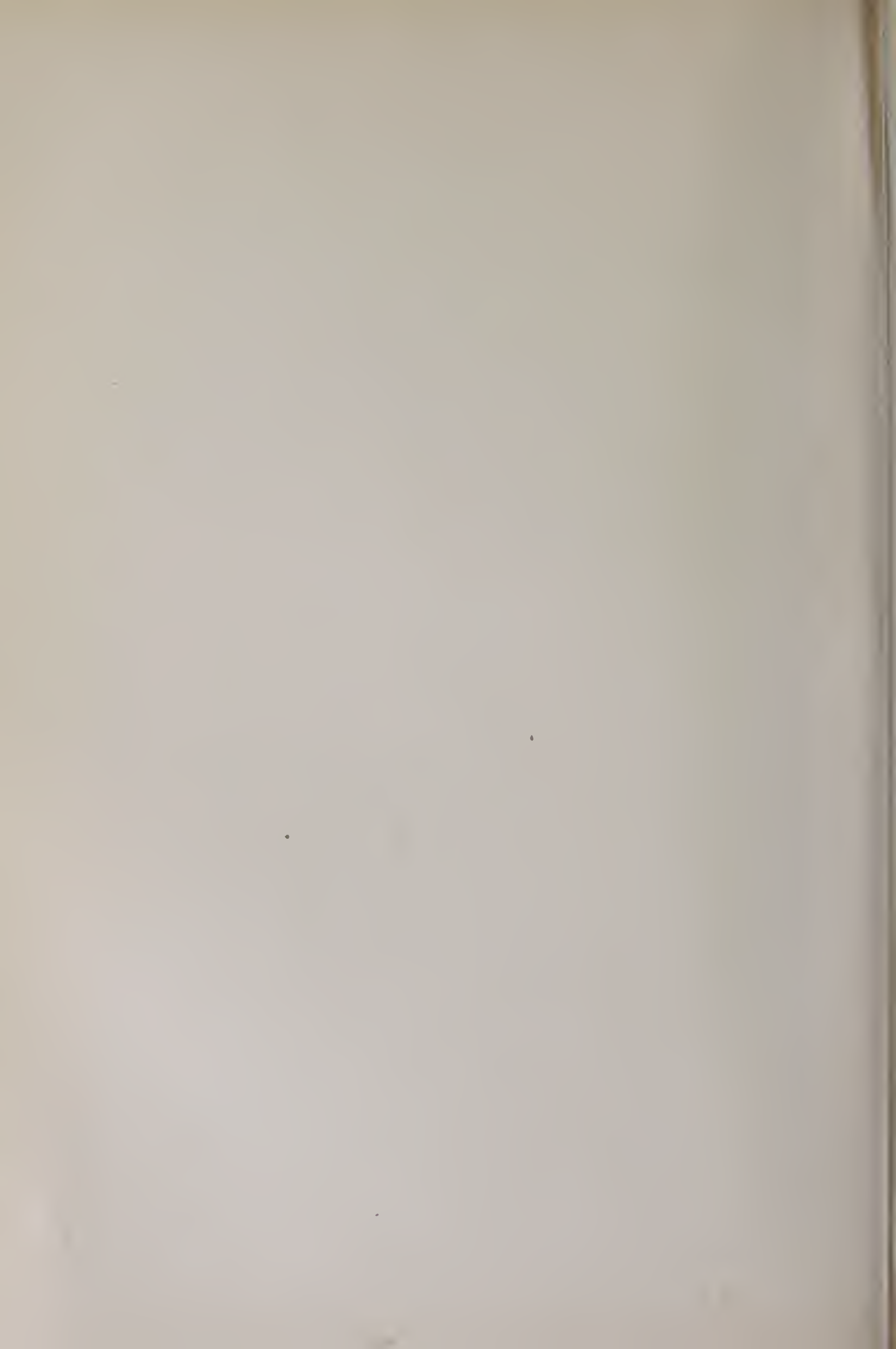
Die in ein Rippennetz aufgelöste Kreuzkappe (Fig. 137) hat ähnlichen Gleichgewichtsforderungen zu genügen wie die Tonne, besondere Beachtung erheischen die Diagonalrippen, welchen weit grössere Beanspruchung zufällt, als allen übrigen, sie können daher ihrer konstruktiven und architektonischen Bedeutung gemäss durch ein kräftiger gebildetes Rippenprofil ausgezeichnet sein.

Kuppelartige Netzgewölbe.

Busige oder kuppelartige Netzgewölbe haben in statischer Hinsicht ähnliche günstige Eigenschaften wie busige Kappen oder schlichte Kuppelgewölbe. Wenn eine ringförmige Verspannung möglich ist, sei es durch Querrippen oder

Tafel XVIII.


Gesamtgestalt der reichen Rippengewölbe.
136.
137.
138.
139.
140.
140 a.
140 b.
141.
141 a.
141. b.
141 c.
m e d c
a b
m e d
n o p
142.
142 a.
143.
144.
144 a.
144 b.
r v w t
145.



steife Kappenflächen, so kann sich die Gleichgewichtslage in viel weiteren Grenzen bewegen als bei tonnenartigen Wölbformen. Alle Querschnittskurven, deren Krümmung an keiner Stelle die entsprechende Krümmung der unter Fig. 126 dargestellten HAGEN'schen Linie überschreitet, sind für solche Gewölbe anwendbar, solange der Ringdruck genügend sicher aufgenommen werden kann. Solcher Querschnitte gibt es aber sehr viele. Der Spitzbogen ist in einem kleinen, der Rundbogen in einem grösseren, unteren Stücke nicht günstig, beide können aber als Querschnitt ruhig verwendet werden, wenn sie bis zu der betreffenden Höhe eine sichere Hintermauerung erhalten.

Will man Netzgewölbe über einem viereckigen Felde nach einer genauen Umdrehungsfläche bilden, deren senkrechte Achse durch den Schlussstein führt, so wird sich die Gestalt einer Stutzkuppel ergeben (Fig. 142).

Der Gewölbeanfänger über einem freistehenden Pfeiler wird im Grundrisse die Umrisslinie eines Vierecks mit eingebogenen Seiten annehmen (Fig. 142a). Bei rechteckigen Gewölbejochen wird dieses Viereck in eine langgezogene Form übergehen (Fig. 143). Die das Feld einschliessenden Rand- oder Stirnbogen *a b*, *d c* usw. sind bei halbkugelförmiger Kuppel Halbkreise, bei spitzbogiger Kuppel hervorgezogene, der Ellipse ähnelnde Kurven. Die Trennungsbogen zweier Felder sind besonders stark belastet und werden deshalb bis in die späteste Zeit bisweilen als stärkere Gurtbogen ausgebildet. Meist allerdings suchte man auch diesen Bogen die gleichen Rippenprofile zu geben, dann ist aber eine Entlastung derselben erwünscht, die am leichtesten erreicht wird, indem man ihnen die Form eines höheren, auch aus anderen Gründen günstigeren Spitzbogens mit anschliessenden Stichkappen giebt. In Fig. 144 sind die Stichkappen schraffiert, der mittlere, hellgelassene Teil hat noch die Kugelform beibehalten, der Schnitt durch den Scheitel ist in Fig. 144b gezeichnet, während Fig. 144a den nun schon etwas mehr zentral gebildeten Gewölbeanfänger im Grundrisse zeigt. Soll der Anfänger noch mehr abgerundet werden, so müssen die auf den eingebogenen Seiten bei *r v t w* sitzenden Rippen vorgezogen werden, damit wäre aber die regelmässige Umdrehungsfläche aufgegeben. Bringt man schliesslich die Rippenanfänge in einen regelmässigen Kreisgrundriss Fig. 145, so ist die Überleitung zum Fächergewölbe geschaffen.

Es lässt sich ein stufenförmiger Übergang verfolgen, von der Drehfläche um die Mittelachse des Gewölbefeldes bis zur Drehfläche um die Mitte des Pfeilers. An ausgeführten Werken kann man die Abstufungen in mannigfacher Weise beobachten. In vielen Fällen wird es geboten sein, weder eine genaue Umdrehungsfläche um die Wölbmitte noch eine solche um die Pfeilerachse zu wählen, sondern auf geeignete Art zwischen beiden zu vermitteln.

Ausmittelung der Gewölbebogen.

Der Gang der Gewölbeausmittelung wird etwa der folgende sein. Nachdem den obwaltenden Verhältnissen entsprechend die Gesamtgestaltung entworfen, besonders die Rippenfigur im Grundrisse festgelegt ist, wird man dazu schreiten, den Querschnitt des Gewölbes in der Richtung der Diagonalen, der Gurte und der Wölbscheitel annähernd anzunehmen, immer im Hinblick darauf, dass eine günstige Gesamtform entsteht, denn letztere wird auf diese Weise schon vorgezeichnet. In diese Hauptform sind nun die Kreuzpunkte ihrer Höhenlage nach einzuordnen, wobei zu beachten ist, dass keiner nach unten eingesenkt erscheint und jeder genügend von seinen Rippen versteift wird (siehe darüber Seite 44). Kommen dabei die Schlusspunkte auf eine „allseits" gekrümmte Fläche zu liegen, so braucht man sich bei den entwickelten statischen Vorzügen der letzteren, selbst bei den Netzformen nicht gar zu sehr um die gesicherte gegenseitige Gleichgewichtslage der Rippenkreuzungen zu sorgen. Es ist nun den Rippenbogen ihre Form anzuweisen, wobei besonders ein günstiges Auseinanderwachsen aus dem Gewölbeanfänger ins Auge zu fassen ist, lässt sich dieses nicht erzielen, so ist nötigenfalls an der Lage der Kreuzpunkte etwas zu

ändern. Kann man unbeschadet anderer Rücksichten die Rippenbogen meist mit gleichem Halbmesser schlagen, so möge man dieses bei Quaderrippen thun, bei Ausführung in Ziegelstein ist aber kein grosser praktischer Nutzen darin zu sehen. Ein gutes Rippennetz muss so beschaffen sein, dass es seine Kräfte sicher übertragen kann, ohne der Verspannung durch die Kappen zu bedürfen. Letztere ist zur weiteren Sicherung natürlich erwünscht. Bei Einfügung der Kappen ist hauptsächlich darauf Rücksicht zu nehmen, dass für keine Rippe die Gefahr des seitlichen Ausbauchens eintritt.

Auf solche Art wird es für kleinere Gewölbe leicht sein, bei nur einiger Umsicht eine die in Frage kommenden Bedingungen erfüllende Gestalt zu gewinnen. Für besondere Fälle werden die weiter oben dargethanen Ausführungen ein Mittel an die Hand geben, eine Prüfung des Gewölbes auf seine statischen Eigenschaften vorzunehmen.

Dem Polier ist auf dem Bau neben den genauen Grundrissen des Gewölbes und des Anfängers ganz besonders die Ordinatenhöhe jedes Schlusspunktes anzugeben, bei busigen Kappen auch Grundrisslage und Höhe des Kappenscheitels. Nie sollte es unterlassen werden, bei reichen Rippengewölben das aufgestellte Gerüst der Lehrbogen näher in Augenschein zu nehmen, da an diesem ein Mangel weit besser zu erkennen ist als auf der besten Zeichnung.

Übliche Regeln für das Austragen.

Das beste Gewölbe wird immer dasjenige sein, welches für den jeweilig vorliegenden Fall aus den massgebenden Bedingungen heraus entwickelt ist. Es haben sich zur Bequemlichkeit einige allgemeine schematische Konstruktionsregeln eingebürgert, die zum Teil dem Mittelalter zugeschrieben werden, es ist schwer zu sagen, ob mit Recht oder Unrecht. Diese das Austragen der Rippen bezweckenden Regeln sind nunmehr zum Abschlusse dieses Kapitels noch aufzuführen und soweit es nötig scheint, kritisch zu beleuchten.

a. Rippen in einer Kugelfläche.

a. Austragen eines Rippengewölbes, dessen Rippen sämtlich auf einer Kugelfläche liegen. Wenngleich man aus bereits aufgeführten Gründen seltener die Gewölbe nach einer genauen Kugelfläche bilden wird, sei doch vorab dieser Fall als der einfachste behandelt. (Fig. 146.)

Es liegen alle Rippen in ihrem ganzen Verlaufe auf einer Halbkugel, deren Grundkreis in die Abbildung eingetragen ist. Will man irgend ein Rippenstück $m\,n$ nach seiner Lage, Länge und Gestalt austragen, so verlängert man den Grundriss desselben bis zum Schnitte mit dem Grundkreise, es entsteht dadurch die Sehne $r\,s$. Eine senkrecht über $r\,s$ errichtete Ebene schneidet die Halbkugel in einem Halbkreise, denn jeder senkrechte Schnitt durch eine Halbkugel liefert einen solchen. Auf diesem senkrecht über $r\,s$ zu denkenden Halbkreise muss aber die Rippe $m\,n$ liegen, man kann sie also mit ihm zusammen in die Grundrissebene niederklappen, was einfach dadurch geschieht, dass man seitwärts über $r\,s$ als Grundlinie einen Halbkreis schlägt und auf der Grundlinie in m und n Lote errichtet, welche den Halbkreis in den Punkten M und N schneiden. Der Bogen $M\,N$ ist der thatsächliche Rippenbogen nach Länge und Krümmung, und in den Linien $M\,m$ und $N\,n$ ist die Höhe der beiden Schlusspunkte über der Grundebene gefunden. Das ist aber alles, was man durch das Austragen ermitteln will. Man verfährt genau in derselben Weise mit jedem anderen Rippenstücke, in der Abbildung sind als weitere Beispiele die Bogen $E\,O$ und $a\,B$ ausgetragen. Alle Rippen, welche durch die Wölbmitte o führen, liegen auf sogenannten grössten Kugelkreisen, während die übrigen, als $a\,b$ und $m\,n$, auf kleineren Kugelkreisen liegen. Letztere haben daher kleinere Halbmesser, oder was dasselbe sagt, eine stärkere Krümmung.

b. Prinzipalbogen über der Diagonale.

b. Austragen eines Gewölbes nach einem über der Diagonale geschlagenen Prinzipalbogen. (Fig. 147 und 147a.) Es werden bei diesem Verfahren alle Bogen mit demselben Halbmesser geschlagen, was soeben nicht der Fall war. Es wird die Kreuzrippe zunächst als Spitz-, Flach- oder Rundbogen angenommen, aus der einen Hälfte derselben, dem „Prinzipalbogen“, werden alle anderen Bogen abgeleitet.

Zum besseren Vergleiche mit der vorigen Konstruktion ist der Diagonalbogen als Halbkreis angenommen, der Prinzipalbogen ist also ein Viertelkreis. Die Rippe über *a o* ist demnach als Viertelkreis direkt gegeben, in der Nebenfigur 147a ist dieser als der Bogen $a_1 O$ hingetragen, es handelt sich nun darum, die Rippen über *b e* und *e o* zu bestimmen. Zu diesem Zwecke trägt man letztere beiden Strecken in die Nebenfigur vom Punkte o_1 aus auf die Grundlinie als $o_1 e_1$ und $e_1 b_1$. Über e_1 wird eine Senkrechte bis zum Viertelkreise errichtet, deren Länge $e_1 E$ die Höhenlage des über *e* befindlichen Schlusspunktes angiebt, während das Bogenstück *EO* die Rippe über *e o* nach Lage und Grösse darstellt. Die Rippe *b e* im Grundrisse muss über $b_1 e_1$ liegen, der obere Schlusspunkt *E* ist bereits ermittelt, es ist also nur b_1 mit *E* durch einen Bogen zu verbinden, welcher mit dem gegebenen Radius *r* des Prinzipalbogens aus dem Mittelpunkte *x* geschlagen wird. Der Mittelpunkt *x* liegt unterhalb der Grundlinie, weshalb die Rippe als Knickbogen aus dem Widerlager herauswächst. Die Randbogen *c d* und *h g* können, um das Prinzip der gleichen Halbmesser konsequent durchzuführen, als Spitzbogen mit dem Halbmesser *r* ausgebildet werden, ihre Scheitel *m* und *n* liegen dann höher als die benachbarten Schlusspunkte *e* und *f*.

Das so ausgetragene Gewölbe stimmt ziemlich genau mit dem nach der Kugel gebildeten überein, nur ein Teil der Rippen tritt in seiner Biegung innen aus der Kugelfläche heraus, alle Kreuzpunkte aber, ebenso die zu der Wölbmitte führenden Rippen, liegen auch bei diesem Verfahren in der Kugelfläche.

Die Rippe *b e* tritt — wie alle entsprechenden — schräg aus dem Widerlager, statisch ist das meist nicht ungünstig. Der Gewölbeanfänger kann aber durch das wechselweise senkrechte und schräge Aufsetzen der Rippenfüsse eine so unregelmässige Gestalt bekommen, dass unter Umständen eine in Fig. 148 zur Darstellung gebrachte Abart von dieser Konstruktion vorzuziehen ist.

Es unterscheidet sich diese Konstruktion von der vorigen nur dadurch, dass der gebrochene Rippenzug *b e o* (Fig. 147) auf der Grundlinie der Nebenfigur 148 nicht vom Punkte o_1 ab nach links, sondern von a_1 ab nach rechts aufgetragen wird. Die Rippe *b e* wird als $a_1 E$ gefunden, sie fällt mit dem unteren Stücke des Prinzipalbogens zusammen, die Scheitelrippe *e o* muss ihren einen Endpunkt in *E*, den anderen in einem Punkte O_1 haben, welcher gleiche Höhe mit *O* hat. Es wird die Bogenlinie wieder mit dem gegebenen Halbmesser aus dem Mittelpunkte *x* geschlagen. Die Randbogen können wie vorhin Spitzbogen mit denselben Halbmessern sein, ihre Scheitel werden jetzt aber von den Kreuzpunkten *e* und *f* überragt.

Es entsteht auf diese Weise ein Gewölbe mit regelmässigen Gewölbeanfängen, die seitlichen Kreuzpunkte *e, f* usw. in Fig. 147 liegen nicht mehr auf der Kugelfläche, sie sind höher hinaufgerückt, so dass sie nahezu die Höhe der Wölbmitte erreichen. Will man einen grösseren Unterschied in der Höhe der seitlichen und des mittleren Schlusspunktes erzielen, so wählt man als Prinzipal- bezw. Diagonalbogen besser den auch aus statischen Gründen vorteilhafteren Spitzbogen (vergl. Fig. 149).

c. Prinzipalbogen über einem gebrochenen Rippenzuge.

c. Austragen nach dem Prinzipalbogen über einem im Grundrisse gebrochenen Rippenzuge Fig. 150. Es möge im Grundrisse wieder das gleiche einfache Sterngewölbe Fig. 147 vorliegen. Der Prinzipalbogen wird jetzt nicht über der halben Diagonale geschlagen, sondern über einer Grundlinie die durch Addieren der Längen *b e* und *e o* gewonnen wird, er sei wieder ein Viertelkreis.

In der Fig. 150 sind die Grundrisslängen der in Frage kommenden Rippen als Linie $b_1 e_1 o_1$ aneinander getragen, und darüber ist der Prinzipalbogen $b_1 O$ geschlagen. Die beiden Teile $b_1 E$ und *EO* desselben geben direkt die ausgetragene Gestalt dieser Rippen. Um auch die Kreuzrippe zu ermitteln, trägt man ihre Grundrisslänge als $a_1 o_1$ hin und hat dann die Punkte a_1 und *O* durch

einen Bogen zu verbinden. Soll für diesen Bogen der Halbmesser des Prinzipalkreises verwendet werden, so rückt der Mittelpunkt nach *x*, er liegt etwas über der Grundlinie, was zu einem hufeisenförmigen Bogen führen würde. Besser wird man aber von der Gleichheit der Halbmesser absehen und die Kreuzrippe nach einem Spitzbogen bilden.

Da dieser letztere Prinzipalbogen eine längere Grundlinie hat, führt er zu grösseren Scheitelhöhen. Fehlt es an Konstruktionshöhe, so wird man statt des Viertelkreises eine flachere Linie zu Grunde legen müssen, die man aber nicht nach der statisch gar zu ungünstig liegenden Ellipse bilden sollte.

Bedenken gegen die letztere Regel.

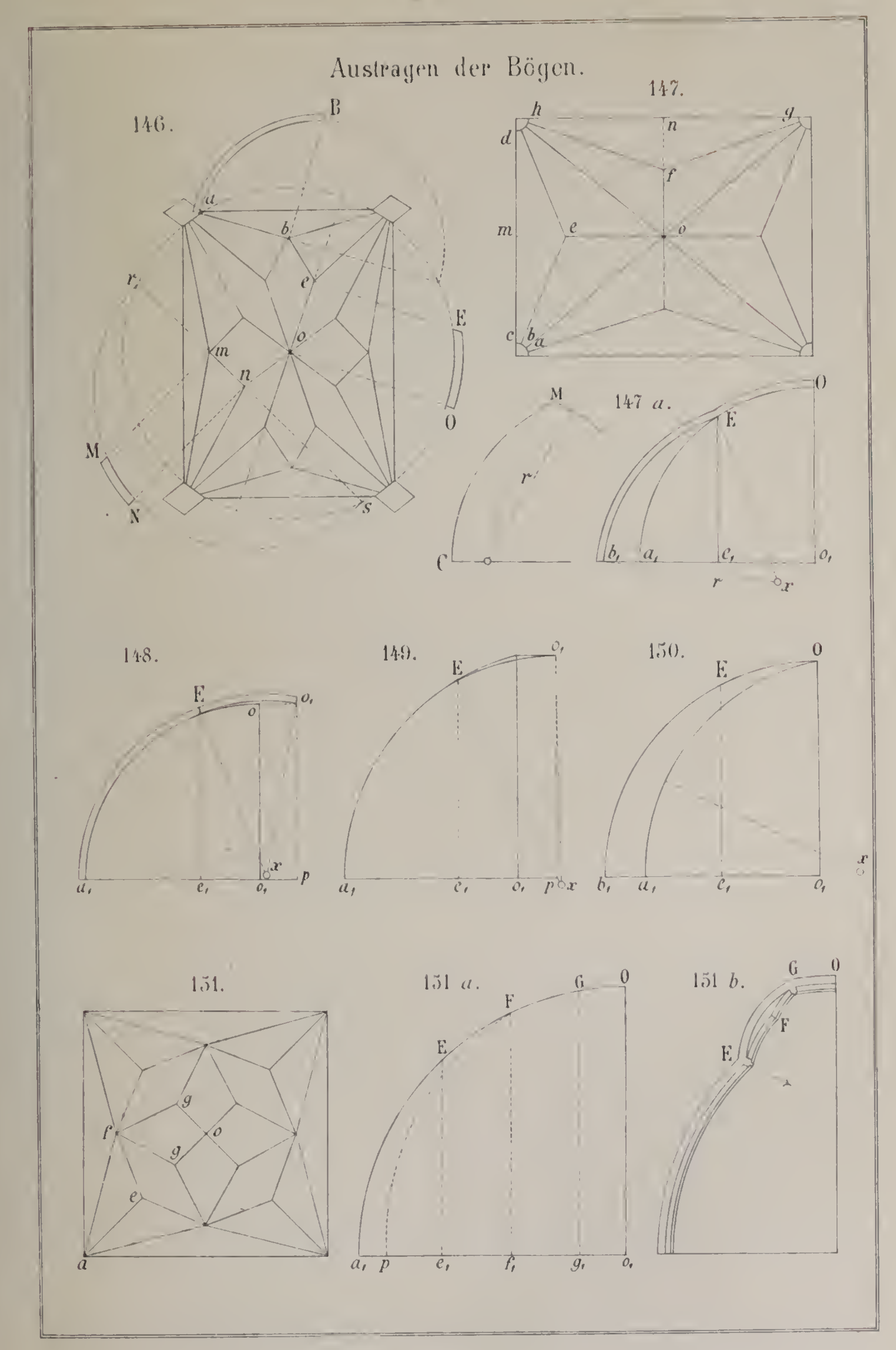
Der Prinzipalbogen über einem gebrochenen Rippenzuge scheint besonders am Platze zu sein für Netzgewölbe, denen die durchgehende Kreuzrippe fehlt, seine Anwendung wird auch vorwiegend für diese empfohlen, und doch darf er gerade hier nur mit der grössten Vorsicht aufgenommen werden, wie an dem Grundrisse 151 erläutert werden soll.

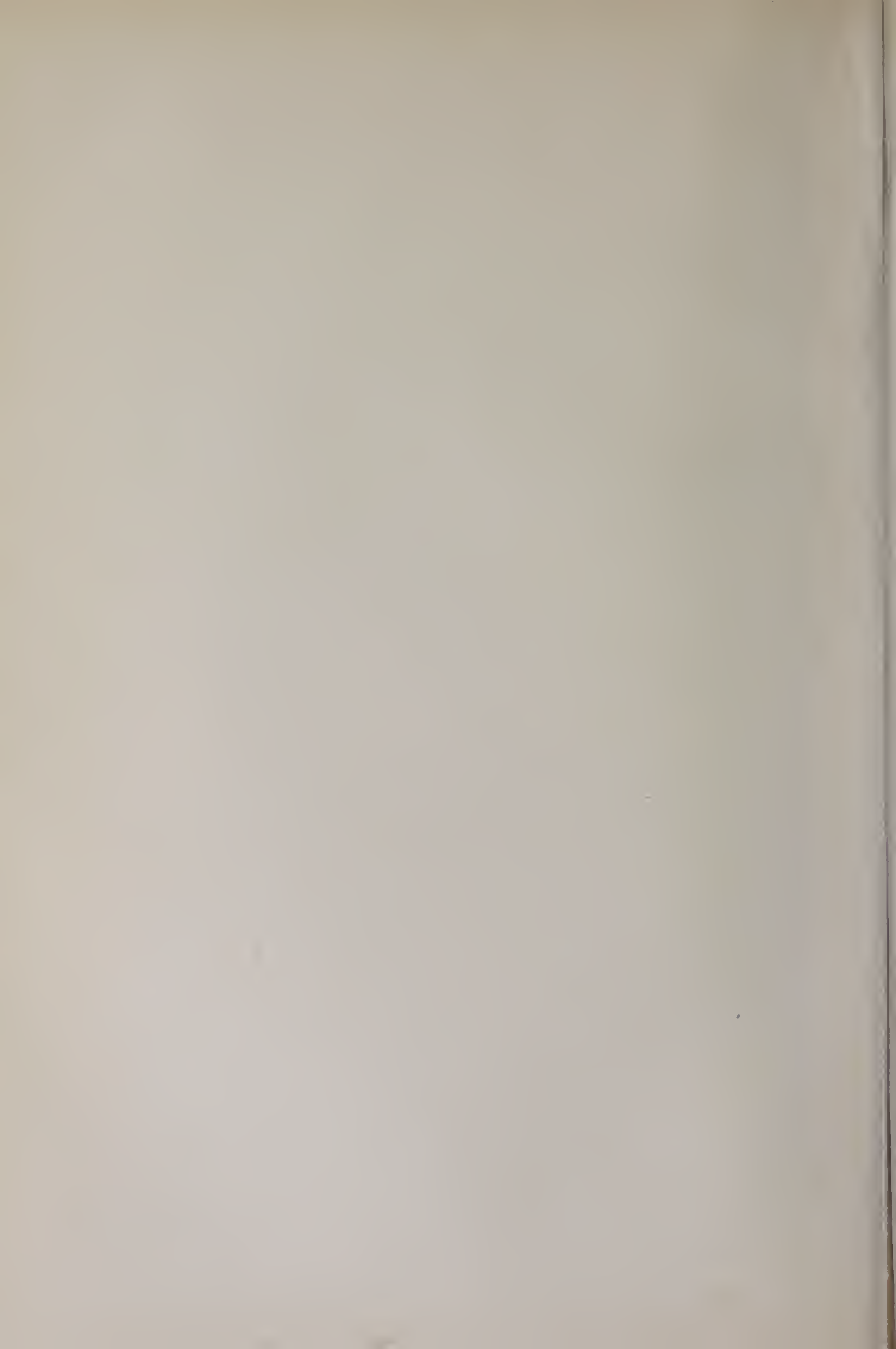
Als Grundlinie des Prinzipalbogens, der auch hier wieder ein Halbkreis sein möge, würde man naturgemäss den Rippenzug *a e f g o* wählen, in der Nebenfigur 151 a ist die Konstruktion, die nichts Neues bietet, durchgeführt, die meisten Rippen ermitteln sich als Teile des Prinzipalbogens direkt; der nicht in dem Rippenzuge enthaltene Bogen über *a f* ist besonders als *p F* auszutragen. Sind solcher Art die Lage der Schlusspunkte und die Form der Rippen festgelegt, so lässt sich leicht der Diagonalschnitt des Gewölbes zeichnen — Fig. 151 b. Dieser setzt sich aber in Widerspruch mit den einfachsten Bedingungen der Haltbarkeit (siehe Seite 44 und folgende), der Kreuzpunkt *E* ist in so auffallender Weise nach innen eingesenkt, dass der Einsturz des Gewölbes zu fürchten wäre — mit der Anwendung dieses Verfahrens würde man also bei diesem Gewölbe übel beraten sein.

Man fragt mit Recht, woher diese zweifelhafte Konstruktion stammt. Verbreitet ist sie hauptsächlich durch HOFFSTADT (gotisches ABC), und dieser stützt sich im wesentlichen auf eine dem Jahre 1695 angehörige Schrift des Danziger Maurermeisters BARTHEL RANISCH, den wir wohl kaum als Gewährsmann anerkennen dürfen. Wissen wir auch, dass Reste gotischer Konstruktionsregeln sich fort und fort vererbt haben bis fast auf unsere Tage, so ist doch schwerlich vorauszusetzen, dass jene Meister, welche die Formen der Antike und Renaissance schliesslich in die gequältesten Schnörkeleien überführt hatten, gerade die Überkommnisse des Mittelalters in lauterer Form bewahrt haben sollten.

Dass die Ausgangszeit des Mittelalters bei ihren Wölbungen wie überall gewisse handwerksmässige Regeln gepflegt hat, ist sehr wohl denkbar, einen Aufschluss über dieselben würden vielleicht zahlreiche genaue Messungen liefern können, die sich besonders an den Decken der Kreuzgänge leicht ausführen liessen. Oft hat es den Anschein, als könne man derartige Beziehungen verfolgen, seien es Anordnungen der Kreuzpunkte auf einer Kugelfläche, oder seien es auf einen Prinzipalbogen hinweisende Rippenzüge; gewöhnlich trifft man aber dicht daneben Gewölbe, die sich keinem Systeme anpassen wollen. Auch etwas eingesenkte Schlusspunkte finden sich, die aber nicht so bedenklich sind, wie der in Fig. 151 b mit *F* bezeichnete. Es liesse sich daher annehmen, dass solche Prinzipalbogen in gewissen Grenzen angewandt wären und dass spätere Zeiten die Regeln in missverstandener Weise verallgemeinert haben. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass man die Verwendung gleicher Halbmesser, die in den Prinzipalbogen zum Ausdruck gelangt, in vernunftmässigen Grenzen erstrebt hat. Für die Bildung der Anfänger und die Aus-

Tafel XIX.





führung in Werkstein hatte sie einen gewissen Wert, daneben mag die Art des Einrüstens auf sie hingeleitet haben. Man stellte jedenfalls zunächst die Lehrbogen unter den Gurt- und Diagonallinien auf, letztere wohl selbst dann, wenn die Rippen stellenweise unterbrochen waren, den Schlusspunkt unterstützte man durch einen senkrechten Holzstiel. Dann fügte man auch für die übrigen Rippen die entsprechenden Lehrbogen ein, wie man sie der Reihe nach am besten befestigen konnte, erst die grösseren, dann die kleineren, indem man die Kreuzpunkte soweit es nötig war stützte. Dabei war es jedenfalls eine Bequemlichkeit, bei reichen Wölbungen die Lehrbogen vorher mit ein und demselben Halbmesser aufzureissen und sie dann einzupassen und abzuschneiden, soweit man ihrer gerade bedurfte. So können mehrfache Gründe zusammengewirkt haben, das Streben nach der konsequenten Durchführung gleicher Radien zu erzeugen. Wo letztere aber zu nachteiligen Folgen führten, da wird ein denkender Baumeister auch in jenen Tagen nicht einem zu weit getriebenen Prinzipe zu Liebe die Schönheit oder gar die Sicherheit seines Werkes geopfert haben.

6. Die Gestaltung der Rippenprofile.

Vorspringende Gewölberippen traten allgemein auf, als seit dem XII. Jahrhundert nicht mehr die Wölbflächen, sondern die Wölblinien das bestimmende Ausgangsglied für die Gewölbebildung waren (vgl. S. 11). Damals vollzog sich rasch jener bedeutende Umschwung, der neue Bogenformen einführte, der die Gestalt und die Herstellungsweise der Kappenflächen änderte und der seine Krönung erhielt, als der tragende Rippenbogen sich von der getragenen Wölbfläche schied.

Den wirksamsten Anstoss zur Einführung der Rippen gaben die Schwierigkeiten bei Herstellung der unregelmässigen Gratkante und die grosse Beanspruchung der letzteren durch die gerade in diesen Schnittlinien zu übertragenden Kräfte.

Der Querschnitt der Rippen muss erstlich den einzelnen Kappenschichten das erforderliche Auflager gewähren, sodann aber nach Grösse und Form geeignet sein, die einwirkenden Belastungen genügend sicher aufzunehmen, er zerfällt hiernach in zwei Teile, in das obere Widerlager und das nach unten vorspringende tragende Profil.

Anschluss der Kappen.

Das Widerlager, welches den Kappenschichten geboten wird, besteht entweder in einer ebenen Fläche (Fig. 152), oder in zwei dachförmig gegeneinander geneigten Flächen (Fig. 153). oder in einem durch die ganze Kappendicke dringenden aufgesetzten Rücken, dessen Seitenflächen am besten so geneigt sind, dass sie die Kappenrichtung möglichst senkrecht aufnehmen (Fig. 154). Der Rückenansatz tritt sowohl für Werkstein als Backstein schon in frühester Zeit auf, wie die der ersten Gotik angehörenden Profile (Fig. 195, 196) aus den Ruinen zu Walkenried am Harz und viele andere beweisen. Besonders nahm der Ziegelbau das angeformte Widerlager auf, das auch für Neuausführungen wieder beliebt geworden ist. Es hat unter anderen den Vorteil, dass sich die Rippe nicht unter der Kappe verschieben kann, was vereinzelt an alten Werken beobachtet worden ist (Marktkirche zu Hannover). Ein interessantes, der Renaissance angehöriges, vielleicht früheren Werken nachgebildetes Profil findet sich in den Ruinen der Ordensburg Doblen in Kurland (Fig. 155), es zeigt einen schwalbenschwanzförmigen Eingriff, der sich da empfehlen dürfte, wo die Kappen zum Teil gegen die Rippen ansteigen. Auch in preussischen Ordensbauten (vgl. Steinbrecht) finden sich ähnliche Profile, ebenso in Nordwestdeutschland. An Stelle der eingezogenen Rücken-

aufsätze zeigen die Ziegelrippen häufig, so am Eingange der deutsch-katholischen Kirche zu Wilna, am Kreuzgange des Domes zu Riga usw. einen Eingriff des Rippensteines in seiner ganzen Breite (Fig. 156 und 157).

Profilierung. Was nun die Profilierung des vor die Kappenflucht vortretenden Teiles betrifft, so ist dieselbe überaus verschiedenartig, jedoch immer in erster Linie von den Gesetzen der Festigkeit bedingt. Wenn seitliche Verschiebung nicht in Frage kommt, vielmehr der Bogen vorwiegend senkrechte Lasten aufzunehmen hat, dann wirkt die Breite für seine Widerstandsfähigkeit in weit geringerem Masse als die Höhe. Diese vorwiegende Wichtigkeit der Höhe muss in dem Rippenprofile zum Ausdruck kommen, sowohl in seinen Abmessungen als im Charakter der Gliederung. Daher ist die Höhe mindestens der Breite gleich zu machen, besser überwiegt sie und zwar etwa in der Weise, dass sie sich zur Breite verhält, wie die Diagonallänge eines Quadrates zu dessen Seite. Die Alten hatten die Bedeutung der Höhenrichtung sehr bald erkannt, sie ist vielfach schon in romanischen Querschnitten ausdrucksvoll betont.

Der Gliederung nach lehnen sich naturgemäss die Rippenquerschnitte an die weit älteren Gurtbogen an, ihre Grundform ist, wie bei diesen das Rechteck oder der Rundstab. Das Rechteck tritt beim ersten Vorkommen bisweilen in einfachster Form auf wie bei den wohl noch dem XI. Jahrhundert zugehörenden Rippen der Krypta zu Gloucester (Fig. 158). Meist sind aber ebenso wie bei den Gurten die Ecken reicher gegliedert, z. B. in Notre Dame zu Paris (Fig. 159), oder auch einfach abgefast (Fig. 160). An Stelle der anfänglichen Fasenrichtung von 45° tritt später oft eine die Höhenrichtung mehr ausdrückende steilere Richtung ein von vielleicht 60° (Fig. 161). Der Rundstab kommt bis zur Übergangszeit wohl als einfacher Halbkreis mit oder ohne Überhöhung vor (Fig. 162), häufiger aber ist er einer rechteckigen Platte aufgelegt (Fig. 163 und 164).

Die vorwiegende Bedeutung der Höhe spricht sich am deutlichsten in der letzten Form mit zwei untereinandergelegten Teilen aus, dieselbe ist daher auch ganz besonders zum Ausgangspunkte für weitere Gestaltungen geworden. Ein Beispiel dieser Art zeigt die Figur 165, welche einer Seitenkapelle des Domes in Fritzlar entnommen ist und gewissermassen als Wurzel der in den Figuren 166—172 dargestellten reicheren Gestaltungen angesehen werden kann. Im Chor der Kirche zu Wetter findet sich der untere Stab verkleinert und die Fase durch eine Hohlkehle ersetzt, wie Fig. 166 zeigt. In dem wenige Jahre späteren Schiff derselben Kirche ist dann die Verbindung zwischen der Kehle und der lotrechten Platte noch durch eine Platte vermittelt (s. die rechte Hälfte derselben Figur). Die hier noch matte Wirkung wird besser, wenn die Hohlkehle sich tiefer einschneidet (s. Fig. 167). Noch lebendiger scheidet sich die Hohlkehle von der lotrechten Seitenfläche ab durch einen dazwischengeschobenen Rundstab, wie die dem XIII. Jahrhundert angehörigen Rippenprofile der Stiftskirche in Treysa (Fig. 168) und des Domes zu Magdeburg (Fig. 169) zeigen. Dieser Rundstab wiederholt sich zuweilen kleiner vor dem Ansatze der Kehle an den Stab, so im Kapitelsaal vom Kloster Haina, im XIII. Jahrhundert (Fig. 171), im Kölner Dom (Fig. 170) und in der 1288 gegründeten Marburger Schlosskapelle (Fig. 172).

Einfache Gestaltungen ergeben sich unmittelbar aus dem abgefasten Rechtecke (Fig. 160 und 161), wenn die schrägen Seitenflächen durch flache Hohlkehlen ersetzt werden (s. Fig. 173), woraus sich dann durch Verdoppelung oder Vertiefung der Hohlkehlen die der Spätzeit angehörenden Formen von Fig. 174 und 175 entwickeln.

Die Absicht, die Durchkreuzung der Rippen deutlicher auszusprechen, führt in der Spätzeit auf eine häufige Anwendung des in Fig. 176 dargestellten unten geteilten Querschnittes, der aber auch schon in frühester Zeit an Rippen und Gurten auftritt.

Unterer Wulst der Rippe.

Wie ein Überblick über die mitgeteilten Querschnitte zeigt, endigen die meisten unten in einem Rundstabe. Derselbe ist in der Regel nach einem Zirkelschlage geformt (Fig. 177), vereinzelt auch aus zwei Mittelpunkten gezeichnet, sei es als Spitzbogen (Fig. 178), wie er schon in der frühesten Zeit vorkommt, sei es als breitgedrückter Wulst (Fig. 179), wie ihn spätgotische Werke wohl zeigen.

Dem Wulste gesellt sich schon im XIII. Jahrhundert eine ihm hinfort eigentümliche Beigabe zu, in Gestalt einer an der Unterfläche entlang laufenden Schneide oder Leiste. Die aus zwei gegeneinander gerichteten Flächen gebildete Schneide Fig. 180 trat zuerst auf, bald folgte ihr aber die vorgezogene Leiste Fig. 181, welche dann häufiger zur Verwendung kommt als die erstere. Die Anwendung dieses Gliedes mochte durch das spitzbogige Profil Fig. 178 vorbereitet sein, auch mochte selbiges das Versetzen auf dem Lehrbogen begünstigen, immerhin wird man aber den Hauptgrund seiner Einführung in der künstlerischen Wirkung suchen müssen. Bei der grossen Höhe und der verworrenen Beleuchtung wirkt ein einfacher Rundstab leicht etwas unklar, die Schattengrenze zieht sich oft als langgezogene Schlangenlinie auf demselben entlang. Dagegen fasst der Blick die Form klar auf, wenn er an einer scharf vorgezogenen Kante fortgleiten kann. Da nur kräftige Gliederungen an dieser Stelle wirken, zog man die Leiste bald recht stark vor, bis man zu dem birnenähnlichen Querschnitte Fig. 182 gelangt war.

In Fig. 182 ist angedeutet, wie sich diese Wulstform aus Kreisstücken zusammensetzen lässt. Ein solches Aufreissen nach Kreislinien bildete im Mittelalter aber durchaus nicht die Regel, vielmehr erweisen Messungen an Rippenquerschnitten aus Köln, Aachen usw., dass diese Glieder ebenso wie viele andere oft in einer ansprechenden Krümmung aus freier Hand gezeichnet sind.

Bisweilen werden auch zu beiden Seiten des Rundstabes Leisten angefügt, die so weit hervortreten, dass sie sich nahezu oder völlig mit der unteren Leiste vereinen und den Wulst zurücktreten lassen, vgl. Fig. 183. Die übrigen Rundstäbchen der Rippe werden später ebenfalls mit einer Schneide oder Leiste versehen, die sich dann auch selbst auf die an den Pfeilern herablaufenden Glieder sowie auf Profile an Fensterpfosten usw. überträgt.

Gesamtform des Querschnittes.

Umzieht man den Querschnitt der Rippe mit einem die Hauptpunkte berührenden Linienzuge, so erkennt man, dass im allgemeinen im Laufe der Zeit die rechteckige Grundform mehr und mehr zurückwich, dagegen die Form eines unten spitzen Dreieckes immer ausgesprochener hervortrat.

Ein solcher den Querschnitt umhüllender oder seine Hauptpunkte (z. B. Mittelpunkte der Wulste und Kehlen) aufnehmender Linienzug zeigt oft ganz unverkennbar eine regelmässige geometrische Figur, z. B. ein Quadrat, ein gleichschenklig-rechtwinkliges Dreieck, ein gleichseitiges

Dreieck usf. Ebenso lassen sich einfache Längenverhältnisse wie 1 : 1 oder 1 : 2 auch 3 : 5, wohl auch das Verhältnis der Quadratseite zur Diagonale hier und da erkennen.

Es ist nicht zu leugnen, dass ein Zugrundelegen solcher einfachen Beziehungen das Zustandekommen einer ansprechenden Form sehr erleichtert und überdies beachtenswerte Bequemlichkeiten und Anhalte für das Aufreissen und Zurichten eines Werkstückes gewährt. Diese Vorteile hat sich auch das Mittelalter mit Recht zu nutze gemacht, es hat aber die richtige Grenze wenigstens in der besseren Zeit nie überschritten. Gerade die Rippenquerschnitte zeigen, dass geometrische Konstruktionen höchstens erst dann in Frage kommen, nachdem die Anforderungen der Festigkeit und des künstlerischen Ausdruckes ihr Recht geltend gemacht hatten. Die in grosser Höhe verkürzt in gebrochenem Lichte erscheinenden Gewölbebogen stellten eben Forderungen an ihre Profilierung, die in geometrischen Verhältnissen des Querschnittes kaum zum Ausdruck kommen können, die vielmehr in der ganzen eigenartigen Bildung der Glieder, beispielsweise in der Entstehung des birnenartigen Wulstes hervortreten.

Verhältnis zwischen Rippe und Gurt.

Als die Rippen zuerst auftraten, machte man sie vereinzelt ebenso stark wie die Gurte, so an manchen französischen Werken vom Ausgange des XII. Jahrhunderts, sowie in Deutschland zu Walkenried, am Chore zu Magdeburg usf. Bald erkannte man aber, dass die Rippen nur eines geringeren Querschnittes bedurften, man machte sie daher, wie dies bei den frühen Werken Deutschlands bereits üblich war, allgemein schwächer als die Gurte. Das geschah mit vollem Rechte, denn die derzeit üblichen überhöhten Gewölbe übertragen, ähnlich wie Kuppeln, auf den Gurt eine bedeutende Last. Ein starker Gurt gibt überdies eine wünschenswerte feste Verstrebung der gegenüberliegenden Pfeiler gegen Lastschwankungen, Winddruck usw. Besonders ist aber da ein breiter Gurtbogen erforderlich, wo benachbarte ungleiche Gewölbe einen verschieden grossen Seitenschub auf den Gurt ausüben. Wo zudem Oberlasten durch Mauerwerk oder das Dachgerüst dem Gurte anvertraut werden, wird natürlich auch hierdurch eine entsprechende Stärke bedingt.

Derartige Gründe können dem Gurte eine sehr grosse Stärke aufzwingen, wo sie jedoch nicht zu gebieterisch auftreten, begnügt man sich, den Breitenunterschied zwischen Gurt und Rippe etwa wie 5 zu 3 anzunehmen.

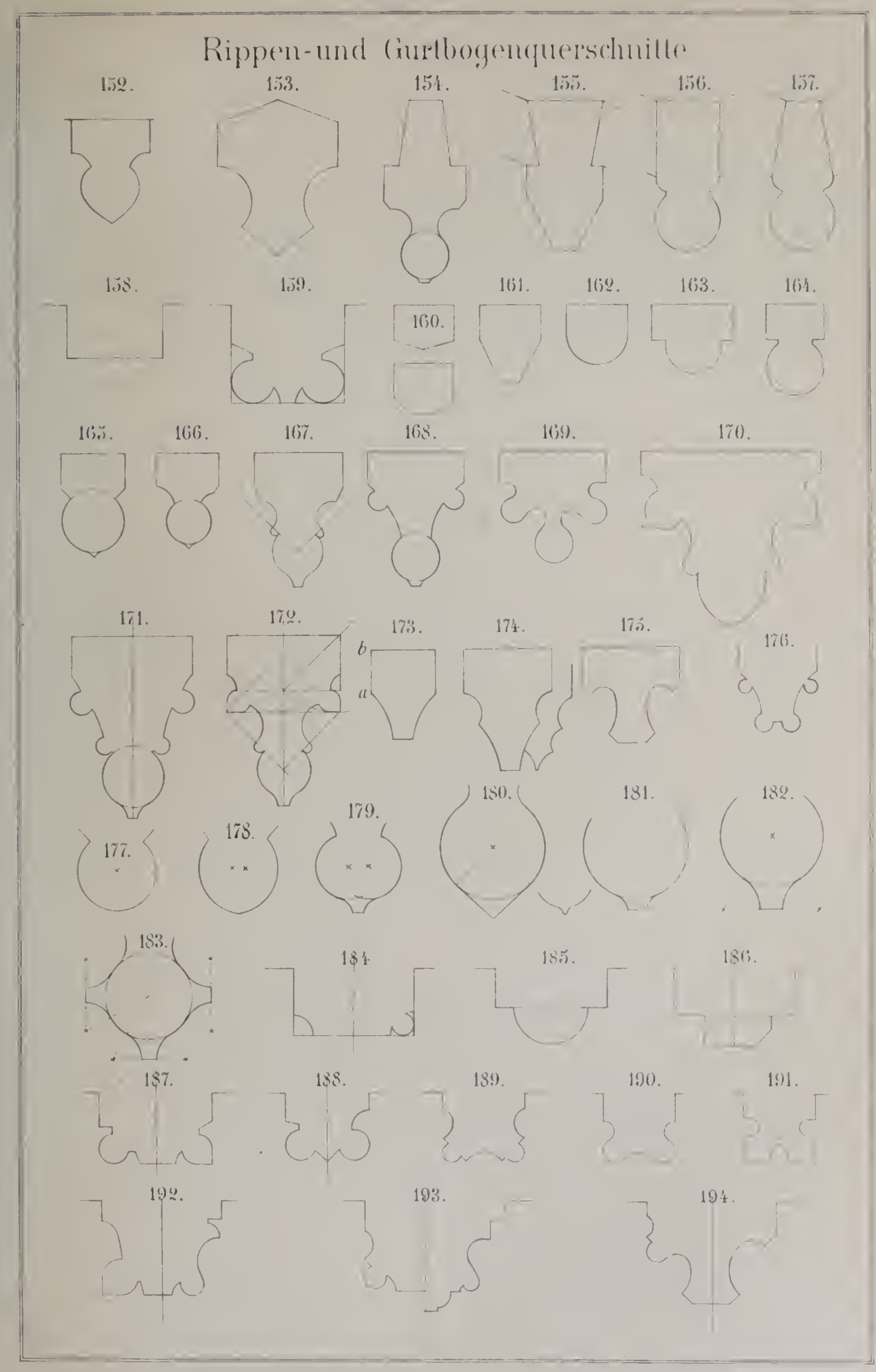
Wo bei manchen Gewölbegestaltungen der vorgeschrittenen gotischen Zeit dem Gurte nur die Aufgabe einer gewöhnlichen Rippe zugewiesen war, wurde er ganz folgerichtig auch nach Grösse und Form des Querschnittes wieder genau wie jede andere Rippe behandelt. Bei den fortlaufenden Netzgewölben fehlen die Gurte oft gänzlich. Sobald aber ein Grund für das Vorhandensein des Gurtbogens vorlag, tritt er bis in die späteste Zeit in angemessener Stärke auf.

Der Gurtquerschnitt ist in romanischer Zeit meist ein Rechteck mit mehr oder weniger reich gegliederten Kanten (Fig. 184).

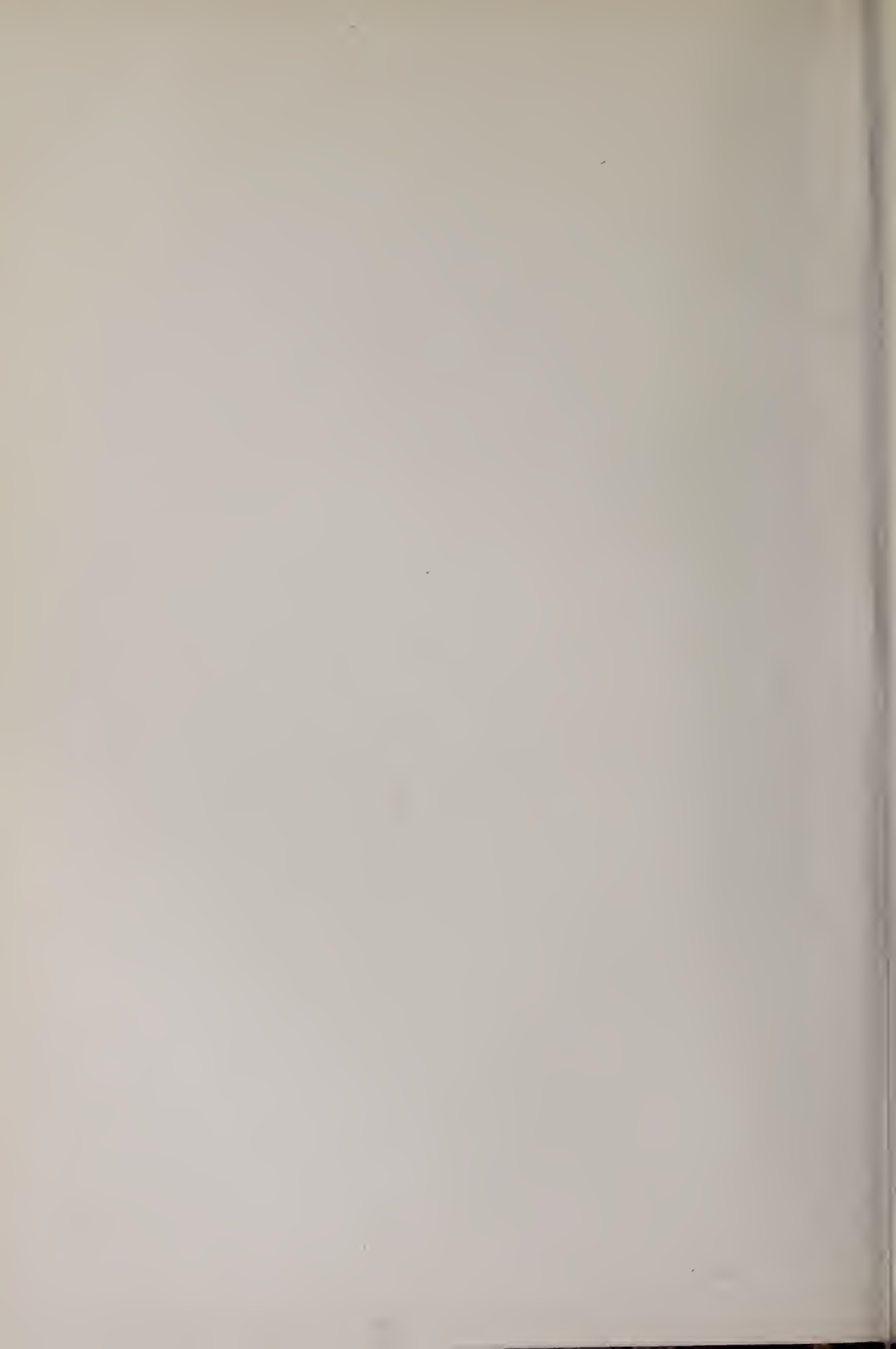
Querschnitte des Gurtbogens.

Sehr oft ist unter das Rechteck noch eine halbrunde oder eckige Vorlage gesetzt (Fig. 185 und 186). Von diesen Formen übernimmt die Gotik besonders das einfache Rechteck, welches in verschiedenster Weise gegliedert wird. Die Fase, Kehle und noch mehr der Rundstab bleiben in der ganzen gotischen Zeit beliebt. Wenn die Breite verhältnismässig gering war, treten schon seit der Übergangszeit ab und zu die Unterflächen ganz zurück, so dass sich die zweiteiligen Formen Fig. 188 bis 191 ergeben. 189 und 190 sind dem Chorgewölbe des Magdeburger

Tafel XX.



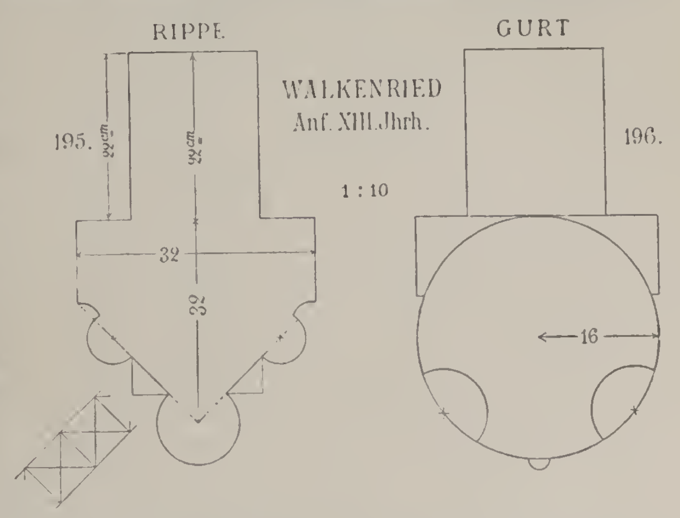
Rippen-und Gurtbogenquerschnitte
152.
153.
154.
155.
156.
157.
158.
159.
160.
161.
162.
163.
164.
165.
166.
167.
168.
169.
170.
171.
172.
b
a
173.
174.
175.
176.
177.
178.
179.
180.
181.
182.
183.
184.
185.
186.
187.
188.
189.
190.
191.
192.
193.
194.



Domes entnommen, während 191 zu Strassburg, Freiburg usw. Verwendung gefunden hat.

Andere häufiger auftretende Gliederungen geben die Fig. 192 bis 194.

Die Gurte und Rippen weichen, wie die dargestellten Beispiele zeigen, im allgemeinen voneinander ab, sie sind bei ein und demselben Gewölbe oft grundverschieden, wenngleich immer ein ansprechendes Zusammenstimmen erstrebt ist. Selbst bei denjenigen der frühesten Werke, welche gleich grosse Querschnitte für beide Bogen aufweisen, ist die Gliederung oft abweichend, wie die in Fig. 195 und 196 nebeneinandergestellten Profile aus der Klosterkirche zu Walkenried zeigen. (Dieselben Querschnitte befinden sich am oberen Chorumgange des Magdeburger Domes und am Herrenrefektorium zu Maulbronn. — Auf den Zusammenhang dieser drei Bauten hat neuerdings auch Hasak hingewiesen.)



Das richtige Gefühl, welches die verschiedenen Aufgaben der lediglich tragenden Rippe, bezw. des gleichzeitig tragenden und trennenden Gurtes in der Gliederung zum Ausdruck bringt, lässt sich bis in die Spätgotik verfolgen, daneben tritt aber auch schon früh das Streben auf, beide Bogen gleichartig zu behandeln. In vielen Fällen ist der Gurtquerschnitt nur eine Verbreiterung oder Bereicherung der zugehörigen Rippenform. Somit übertragen sich die oben dargestellten Rippengestaltungen grossenteils auch auf die Gurte, ein Beispiel dieser Art vom Kölner Dom ist in Fig. 198 wiedergegeben.

Bei der Feststellung der Gliederung beider Bogen darf nicht übersehen werden, dass ein schönes, regelmässiges Zusammenwachsen derselben am Gewölbeanfange (siehe dort) bestimmend auf ihre Form sein muss.

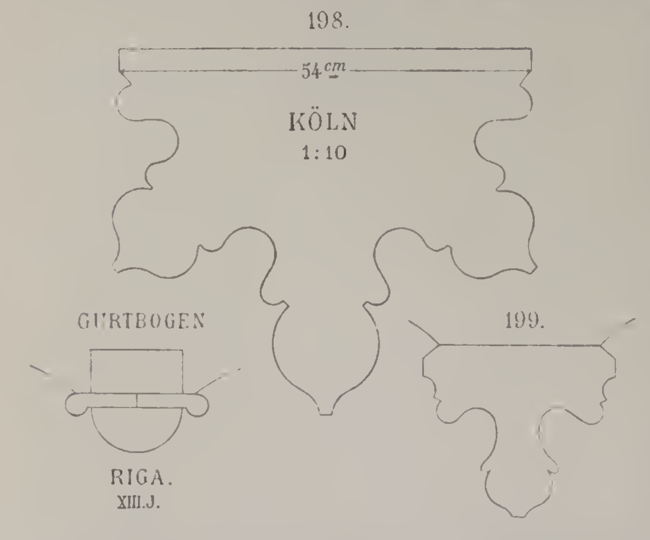
Grössere Gurtquerschnitte werden ähnlich wie die Scheidebogen aus mehreren Steinschichten übereinander hergestellt. In der früheren Zeit war auch bei Backstein die Ausführung in Rollbogen beliebt, wogegen man jetzt gewöhnlich die Steine in dem üblichen Verbande sich verzahnen lässt. Einen aus dem XIII. Jahrhundert stammenden Ziegelsteingurt aus dem Kapitelsaale des Domes zu Riga zeigt Fig. 197.

In der Spätzeit wird häufig die obere Kante sowohl beim Gurte, als beim Kreuz- und Schildbogen vermittelst einer Schräge zurückgesetzt (vgl. Fig. 199), wodurch sich bei der Ausführung ein sauberer Anschluss und ein etwa erwünschtes Auflager für den jeweilig aufzustellenden Lehrbogen ergiebt.

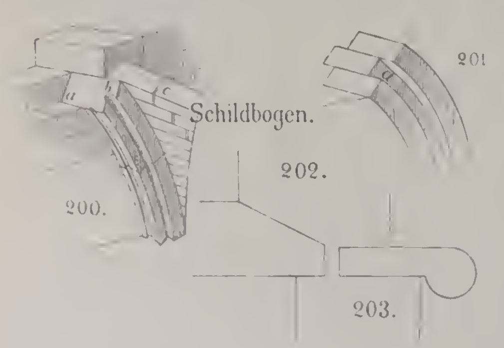
Schildbogen.

Die Schildbogen können entweder vor der Mauerflucht vortreten oder in der Mauerflucht liegen bleiben.

Im ersteren Falle (siehe Fig. 200) ist der Schildbogen eingebunden, d. h. die Werkstücke oder Ziegel *a*, aus welchen er besteht, stecken mindestens mit der Hälfte der Bogendicke in der Mauer. Wenn die Mauer oben nicht zurückspringt, dann müssen sie zugleich mit Aufführung derselben versetzt werden und treten mit einer entweder der Hälfte der Gurtgliederung entsprechenden oder besser selbständigen Profilierung vor der Mauerflucht vor. Sie bilden mit ihrem Rücken *b* eine bogenförmige Bank, auf welche die Kappen *c* sich setzen.



Wo der Schildbogen nicht vor der Mauerflucht hervortritt, da muss dieses Auflager durch einen Rücksprung der Mauer oder eine nutartige Vertiefung gebildet werden. Diese Vertiefung *a* in Fig. 201 findet sich bei sparsam ausgeführten Werken aus Quadermauerwerk zuweilen über die dem gewöhnlichen Verbande entsprechenden wagerechten und lotrechten Fugen hinweg eingehauen, nachdem an der Wand der richtige Zirkelschlag gemacht ist. Bei Bruchsteinmauerwerk hat man die Steine zuweilen einfach im gewöhnlichen Verbande treppenförmig zurückgesetzt, wodurch sich häufig sehr unregelmässige Bogenlinien ergeben haben. Bei Ziegelmauerwerk kann eine Nut aus drei konzentrischen Bogen (nach Fig. 201) gebildet werden, obwohl durch letztere Anlage im Vergleiche zu der eines einbindenden Schildbogens kaum an Leichtigkeit gewonnen werden dürfte.



In früher Zeit war es ganz besonders üblich, die Mauer über dem Schildbogen zurücktreten zu lassen, wodurch ein sicheres Auflager über dem Schildbogen in möglichst einfacher Weise geschaffen wird, gleichviel ob ein Profil angewandt wurde oder nicht. Ein Beispiel für Werkstein zeigen die Trümmer der Marienkirche zu Lippstadt Fig. 202, ein solches für Ziegelstein der Domkreuzgang zu Riga Fig. 203.

Grösse des Rippenquerschnittes.

Über die absolute Querschnittsgrösse der Gewölbebogen ist schwer eine allgemeine Angabe zu machen. Wie die Ausführungen des vorigen Kapitels (s. S. 61)

lehren, kommt weniger die Grösse des von den Rippen zu übertragenden Druckes in Betracht, als der richtige Angriff desselben in der Mitte des Querschnittes, oder mit anderen Worten die günstige Lage der Drucklinie. Würde man den Rippenquerschnitt nur nach der Grösse des Druckes zu berechnen haben, so entständen häufig Profile von so geringen Abmessungen, dass sie praktisch gar nicht ausführbar wären. Mit Rücksicht auf eine sichere Aufnahme der Drucklinie schränkt man zweckmässig die Profilgrösse nicht gar zu sehr ein. In der Praxis nimmt man an, dass untergelegte Rippen aus Werkstein bei 15 cm Breite und 22 cm Höhe noch bei Gewölben bis etwa 9 m Diagonallänge genügen. Ziegelrippen von dem Querschnitte eines flachen Steines (12×25 cm), den etwaigen Rückenansatz eingerechnet, werden oft bis fast zu der gleichen Spannung ausgeführt. Es dürfte sich für solche Weiten aber schon empfehlen, die Profile zu vergrössern, bei Ziegeln durch grössere Formsteine oder mehrere im Verbande gemauerte Steine. Zudem kann eine Verstärkung der Kappen über dem Rücken der Rippe am Platze sein (siehe hinten Kappengemäuer).

Als untere Grenze für Breite und Höhe des Rippenquerschnittes wird wohl 9 und 15 cm bezeichnet, wenngleich für kleine Ziergewölbe nichts im Wege stehen würde, noch weiter herabzugehen. In der That finden wir auch an alten Werken bisweilen noch kleinere Profile, in den Triforien der Marienkirche zu Stargard in Pommern zum Beispiel solche, deren vortretender Teil nur etwa 8 . 10 cm beträgt.

Der Aufführung der Rippenbogen wird im letzten Kapitel (Lehrbogen usw.) Erwähnung geschehen.

7. Von den Schlusssteinen.

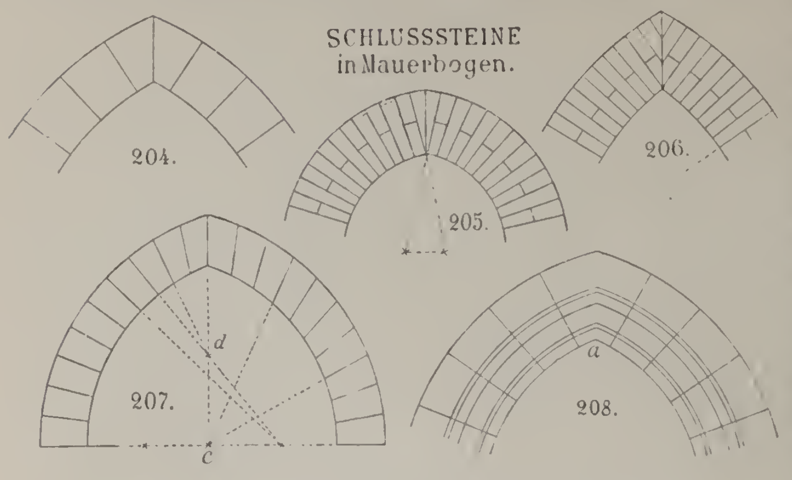
Schlusssteine der Bogen.

Schlusssteine der Mauerbogen.

Für einen einfachen Mauerbogen ist es in konstruktiver Hinsicht meist gleichgültig, ob er im Scheitel eine Fuge oder einen Stein aufweist. Bei den Römern war es jedoch Regel, der Bogenmitte einen Stein, den „Schlussstein" zu geben, der häufig zum bevorzugten Zierstück wurde, so bei den Triumphbogen usw. Das Mittelalter verliess diese Regel und ordnete nach jedesmaligem Ermessen bald eine Fuge, bald einen Stein an, beim Spitzbogen findet sich die Scheitelfuge sogar mit Vorliebe verwendet, vgl. Fig. 204 207. Die übrigen Fugen sind radial nach den Mittelpunkten der Bogenäste gerichtet. Bei kleinen Steinen scheute man sich nicht, Zusammenschnitte nach Art der Fig. 206 zu bilden. Nur vereinzelt, so bei den Stadtthoren zu Pisa (Mitte des XII. Jahrh.) hat man bei Werkstein einen allmählichen Übergang der Fugenrichtung angestrebt, indem man entweder einen Teil der oberen Fugen nach einem anderen Mittelpunkte *d* (Fig. 207) laufen liess, oder auch sämtliche Fugen gegen einen gemeinsamen Punkt *c* richtete. Bei Ziegelsteinbogen finden sich derartige allmählige Übergänge häufiger.

Ein besonderer Schlussstein ist beim Spitzbogen aber gleichfalls nicht selten, besonders wurde er bei stark profilierten Bogen angewandt, um einen sauberen Zusammenschnitt der Glieder zu ermöglichen (Fig. 208). Der hakenförmige Ein-

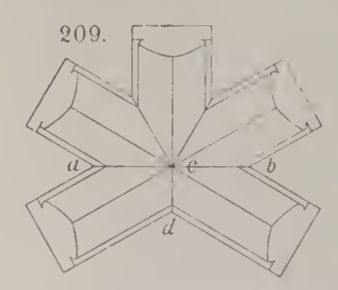
sprung bei *a* gab bisweilen Anlass, hier aus der überschüssigen Steinmasse eine vortretende Scheibe (Rosette) oder einen aus den Bogengliedern herauswachsenden, nach unten gekehrten cylindrischen Körper zu bilden. Beispiele dieser Art zeigen die Seitenschiffe des Münsters in Freiburg. Dass diese Ausfüllung bei schlanken Bogen statisch günstig sein kann, ist an Fig. 127 *E* gezeigt.



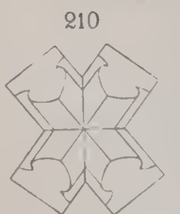
Schlusssteine der Gewölbe.

Schlusssteine der Gewölbe.

Unter den Gewölben kann die Tonne, ähnlich den Mauerbogen, sowohl eine fortlaufende Fuge als auch eine schliessende Steinschicht im Scheitel haben. Von einem einzigen bestimmten Schlusssteine kann natürlich beim Tonnengewölbe nicht die Rede sein, dieser kommt erst in Frage bei den Wölbungen mit kuppelartig erhöhter Mitte und bei den Kreuzgewölben. Zu einer wirklichen Bedeutung gelangt der Schlussstein aber bei den Rippengewölben. Hier vereinen sich im Scheitel beim gewöhnlichen Kreuzgewölbe vier, beim sechsteiligen Gewölbe sechs und bei Chor- und Sternwölbungen oft noch mehr Rippenäste in einem Punkte. Ein solcher Schlussstein hat gleichzeitig Forderungen der Festigkeit, der zuverlässigen Ausführung und der Schönheit zu genügen, denn er muss die Rippenäste fest und unverschieblich vereinigen, er muss ein sicheres Versetzen der Mitte ermöglichen, er muss in schöner Weise die Rippengliederungen aufnehmen und schliesslich auch als Gipfelpunkt des innen sichtbaren Aufbaues eine würdige Ausstattung erfahren.



Einfache Rippenkreuzung



Dieser Bedeutung des Schlusssteines entspricht es, dass er schon in romanischer Zeit nach Auftreten der ersten Rippen stark betont und reich ausgebildet wurde. Nur die mehr bescheiden aufgefassten Werke zeigen zu allen Zeiten einen einfachen Zusammenschnitt der Rippenprofile. Von diesen als einfache Durchkreuzung der Rippenäste gebildeten Schlusspunkten soll zunächst die Rede sein.

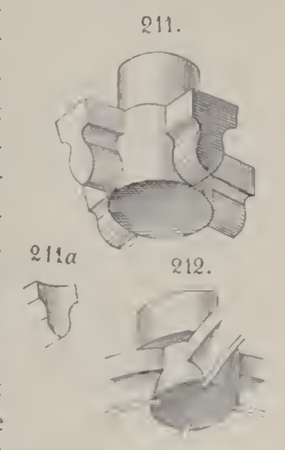
Theoretisch genommen ist es statthaft, die Rippen auf Kehrung nach den Fugen *a b*, *c d* usw. in Fig. 209 zusammenschneiden zu lassen, wie es bei Ziegelrippen in der That oft geschehen ist. Daraus würde sich aber bei Werk-

stein ein schwieriges Austragen, scharfe verletzbare Steinkanten, ein unbequemes Versetzen (besonders bei zahlreichen Rippen), eine leichte Verschieblichkeit und schliesslich ein unvorteilhaftes Erscheinen der Fugen ergeben. Es kann daher nur eine Anordnung in Frage treten, welche den ganzen mittleren Teil aus einem gemeinsamen Werkstücke mit Ansätzen für jede einzelne Rippe herstellt. Fig. 210.

Der Umfang des Schlusssteines richtet sich nach Grösse und Zahl der Rippen; wo genügend grosse Werksteine zur Verfügung stehen, empfiehlt es sich, die einzelnen Rippenansätze nicht zu kurz zu machen. Kommt es dagegen auf eine Einschränkung der Grösse an, so wird man die Ansätze so kurz machen, dass sich die Profile eben frei entwickeln können.

Selbständig ausgebildete Schlusssteine.

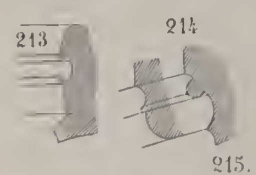
Wenn die in einem Schlusssteine zusammentreffenden Rippen nach verschiedenen Bogenformen gebildet sind, also verschieden steil gegen den Schlusspunkt anfallen, so muss jeder Rippenansatz für sich ausgetragen werden. Die Glieder der einzelnen Rippenäste schneiden in diesem Falle nicht regelmässig ineinander, dadurch erhält aber die Rippenkreuzung ein unschönes Aussehen. Da dieselbe überdies die einheitliche Bedeutung des Schlusssteines nicht zum Ausdruck bringt und dabei das unnütze Wegarbeiten eines ansehnlichen Teiles des Werksteines verlangt, hat das Mittelalter die nackte Rippenkreuzung mit Vorliebe durch eine selbstständige Schlusssteinbildung ersetzt, welche die mannigfachste Abwechslung zeigt. Man schob zwischen den Rippen einen runden oder eckigen Körper ein, der sich oft zu einem Ringe erweiterte. Man bereicherte auch wohl den Zusammenschnitt zwischen je zwei Rippen durch Laubwerk oder Engelsköpfe, oder verdeckte ihn durch eine untergelegte grosse Scheibe, endlich liess man die Schlusssteine weit nach unten vorspringen und versah sie mit reichem pflanzlichen und figürlichen Ornamente.

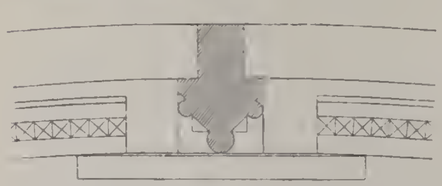


Besonders gern liess man die Rippen sich an einen cylindrischen Kern schliessen, an welchem die Ansätze angearbeitet sind, so dass also der ganze Schlussstein nunmehr die in Fig. 211 gegebene Gestaltung erhält. Es könnte näher zu liegen scheinen, diese Ansätze wegzulassen, dafür die Seitenflächen des Kernes nach den Radien der einzelnen Bogen zu richten, ihm also eine konische Form zu geben. Da aber das Anschliessen der Fugenfläche der Rippen an einen runden Körper eine konkave Gestaltung bedingen und somit ein Wegsprengen der Ecken verursachen würde (s. Fig. 211a), so sind kleine Ansätze doch immer nötig und machen, weil an ihnen der radiale Fugenschnitt angebracht ist, eine konische Gestaltung des Kernes überflüssig. Das mindeste Mass des Radius für den cylindrischen Kern würde in Fig. 209 die Länge ba sein; in der Regel jedoch wird er grösser genommen, so dass der Mantel des Cylinders überall zwischen den Rippenansätzen sichtbar wird. In der Höhe der Kappenflucht setzen sich diese Cylinder ab, so dass ein vortretender Rand stehen bleibt, und dringen mit verringertem Durchmesser durch die Kappendicke, wie Fig. 211 zeigt. Beim cylindrischen

Schlusssteine pflegt in der Regel dieser zurückgesetzte Aufsatz, der die Kappendicke durchdringt, rund zu sein. Er ist meist auch dann vorhanden, wenn die Rippen selbst ohne Rippenansatz bleiben, nötig ist er für diejenigen Schlusssteine, welche in der Mitte eine Öffnung haben.

An einzelnen Werken aus dem Anfange des 16. Jahrhunderts hat der durch die Kappendicke dringende Teil des Schlusssteines einen stärkeren Durchmesser als der sichtbare Cylinder, so dass sich ein vortretender Rand im umgekehrten Sinne bildet, der sich dem Rücken der Rippen auflegt. Fig. 212. Die Rippen selbst schliessen dann an die Seitenflächen des Cylinders mit einer senkrechten Fuge an, müssen aber, um eine ausgehöhlte Form der Fugenfläche zu vermeiden, in den Cylindermantel eingelassen werden. Ebenso muss die Rückenfläche der Rippen, soweit sie unter den vortretenden Rand des Schlusssteines tritt, wagerecht abgearbeitet sein, falls die Rippe nicht wagerecht gegen die Mitte geführt wird. Beide Notwendigkeiten machen aber die Konstruktion zu einer unvorteilhaften.




215.

An den Seitenflächen des cylindrischen Kernes der Schlusssteine ist häufig das Profil der Rippen herumgeführt (Fig. 213); vielfach nimmt die Gliederung auch eine ganz andere Gestalt an, wie in Fig. 214. Letztere Anordnung hat den Vorzug, sobald die Rippen Spitzbogen sind, da wegen des schrägen Anschnittes gegen den Schlussstein das Profil am letzteren doch eine abweichende, mehr hochgezogene Form annehmen würde. Wenn die Rippen verschieden steil anfallen, ist ein Durchführen des gleichen Profiles am Schlusssteine überhaupt nicht mehr zu erreichen, da sich bei jeder Rippe ein anderer Zusammenschnitt der Profile bilden würde, es bleibt dann am besten die Seite des Schlusssteines ganz glatt.

Die Schlusssteinprofile 213 und 214 zeigen unten eine vorspringende Scheibe, welche den Anlass zu reicher Ornamentierung bietet (siehe hinten). Diese Scheiben ragen bei manchen frühgotischen Werken, so bei der Stiftskirche zu Lippstadt und der Klosterkirche zu Walkenried, weit tellerförmig über die Rippenansätze hinaus, so dass sie den Anschluss der Rippen verdecken. Es braucht über diesen Scheiben kein cylindrischer Kern vorhanden zu sein, so schneiden in Walkenried (Fig. 215) die Rippen einfach gegeneinander, nachdem sie zuvor in den rechteckigen Querschnitt überführt sind. Die untergelegten Scheiben nehmen oft statt der runden eine ganz selbständige Gestalt an als Dreipass, Vierpass oder auch als eine Verbindung von Dreipass und Dreieck bezw. von Vierpass und Viereck.

Zuweilen aber ist eine derartig gegliederte Grundrissform direkt als Kern hochgeführt, so dass jeder untere Vorsprung wegfällt und die etwa für die Seitenflächen des Kernes bestimmte Gliederung nunmehr diese Grundform umzieht. Fig. 216 zeigt ein derartiges Beispiel, in welchem die Rippen in die Einsprünge des Vierpasses treten, während sie bei oben rundem Kerne auch in der Richtung ab sich hätten anschliessen können.

Überhaupt ist die runde Grundform des Kernes nur eine konventionelle. Sie bietet allerdings den Vorteil, dass die in verschiedenen Richtungen nach dem

Mittelpunkte des Schlusssteines gehenden Rippen die Seitenflächen rechtwinklig schneiden, zeigt aber die ursprünglich viereckige Gestalt des Werkstückes nur noch in den Rippenansätzen an. Deutlicher spricht sich aber das Werkstück aus in einer quadratischen oder dem Quadrate sich nähernden Schlusssteinform, wie sie Fig. 216 und 217 zeigen. In dem vierseitig geschlossenen Chore der Kirche zu Volkmarsen ist die Grundform des Schlusssteines das übereckstehende Quadrat, so dass die Rippen an den Ecken desselben anschliessen. Auf der unteren Fläche findet sich das Lamm mit der Kreuzfahne in einem durch eine flache Gliederung abgesetzten Felde, in den Ecken desselben sind vier Rosetten angebracht. Ebenso findet sich nicht selten der Schlussstein in Gestalt der vesica piscis und trägt dann ein Marienbild.

In dem Kreuzgange des Erfurter Domes findet sich aber auch das Verhältnis umgekehrt, indem der Kern des Schlusssteines nach einem Quadrate oder flachen Vierbogen gebildet ist, an dessen Seiten die Rippen anlaufen, die Anschlüsse derselben sind auch hier von unten verdeckt durch eine aufgelegte runde, reich ornamentierte Scheibe (s. Fig. 218).

Belastung des Scheitels. Herabhängende Schlusssteine.

Die Grösse des Schlusssteines darf aus statischen Gründen nicht willkürlich angenommen werden, rundbogige Rippen können nur einen leichten Schlussstein tragen, während umgekehrt steile spitzbogige Rippen eine grössere Scheitellast verlangen, über deren Umfang man sich durch Konstruktion der Stützlinie Aufschluss verschaffen kann. Die Scheitelbelastung kann durch entsprechende Breitenausdehnung und Höhenentwicklung des Schlusssteines, unter Umständen auch durch ein grosses spezifisches Gewicht des Baustoffes erzielt werden.

Häufig tritt der Schlussstein unter die untere Rippenflucht herab, wie es bereits viele der angeführten Beispiele zeigen, so die Figuren 215, 216, 218. Dieser Vorsprung, welcher entweder nach unten glatt bleibt und nur an seinem Rande mit einer Gliederung versehen ist, oder auch zu einem mehr oder weniger reichen Ornamente die Masse hergiebt, spricht die durch das Aufwärtsdrängen des Spitzbogens gebotene Belastung des Scheitels aus und giebt zugleich Gelegenheit, durch seine reichere Ausführung die Wirkung des Gewölbes auch in dekorativer Hinsicht zum Schlusse zu bringen.

In jedem Falle muss auf diesen Vorsprung bei Aufstellung der Lehrbogen Rücksicht genommen werden, d. h. es muss die obere Fläche derselben im Scheitel so tief liegen bleiben, dass zum Versetzen des nach unten vorspringenden Schlusssteines Raum gelassen ist. Näheres darüber siehe unter Lehrbogen.

Die Belastung des Scheitels ist durch die förmlich herabhängenden Schlusssteine noch deutlicher ausgesprochen. Es bilden sich dieselben einfachsten Falles aus den in Figur 216 und 218 gezeigten Gestaltungen dadurch, dass die einzelnen Blätter eine mehr der vertikalen Ebene sich nähernde Lage erhalten, und nehmen dann das Ansehen von Kragsteinen oder Kapitälen an. In der Marienkirche in Mühlhausen ist ein herabhängender Stengel gebildet, an welchem in zwei Reihen je vier Blätter fast kreuzblumenartig angesteckt sind (s. Fig. 219). Gerade im vorliegenden Falle, in welchem bei den niedrigen nur halbkreisförmigen Kreuzrippen eine Scheitelbelastung nicht nötig war, ist die Willkür unverkennbar, dennoch aber

ist der feine Sinn zu bewundern, mit dem die Umbildung des Typus der Kreuzblume versucht worden ist, anstatt dieselbe geradeswegs umzudrehen und sonst unverändert zu lassen.

Eine andere noch gesuchtere, weil eine konstruktive Bedeutung affektierende Bildung des Schlusssteines findet sich in einem Joche des nördlichen Seitenschiffes des Mainzer Domes, wo derselbe die Gestaltung eines herabhängenden Baldachins von quadratischer Grundform annimmt, an dessen Ecken dann die Rippen anlaufen. Ebendahin gehören diejenigen Schlusssteine, welche gleichsam auf einem schwebenden Kragsteine aufsitzende Rippenanfänge darstellen, so dass also die Rippenansätze anstatt in der Fortsetzung des Rippenbogens an den Kern zu dringen, nahe bei der Fuge umkehren und in einem eigenen, mit kleinerem Radius beschriebenen Bogen sich bis auf den die untere Begrenzung bildenden Kragstein senken.

Auf die Spitze getrieben zeigt sich aber das ganze Prinzip in der ausschliesslich der Spätgotik eigenen Anlage der hängenden Gewölbe, die sich in England besonders häufig, seltener in Frankreich und Deutschland finden. Eine Anwendung dieser Konstruktion auf den Grundriss des Netzgewölbes zeigt der Kreuzgang der Stephanskirche in Mainz. Hier ist der Schlussstein zu einer förmlichen Hängesäule geworden und wird wie eine wirkliche Hängesäule in der Holzkonstruktion von den Strebebändern, so hier von den oberhalb des eigentlichen Gewölbes gespannten Rippen getragen, setzt sich dann nach unten fort bis zur Höhe der Grundlinie des Gewölbes und endigt in einem schwebenden Knaufe. Oberhalb des Knaufes finden sich dann die Ansätze für die schwebenden Rippen. Fig. 220 zeigt diese Konstruktion im Durchschnitt. Es sind darin *a* die den Schlussstein tragenden Bogen, *b* der hängende Schlussstein, *c* die Rippen und *d* die Kappen des Gewölbes.

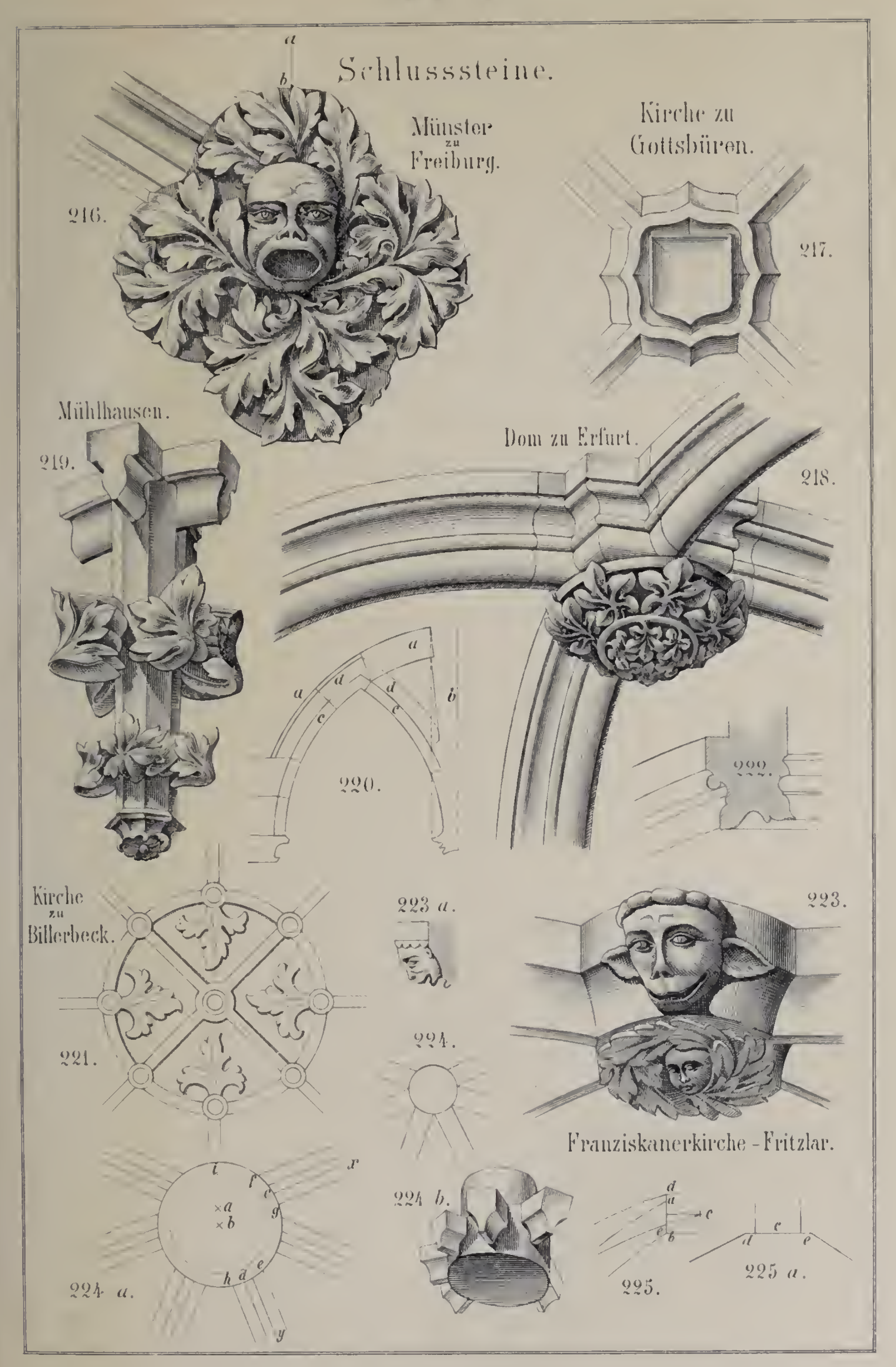
Die reiche und malerische Wirkung derartiger Gewölbe versöhnt in der Wirklichkeit mit der Übertreibung. Mag man sie immerhin als blosse Dekoration betrachten, so bilden sie doch nur aus der Konstruktion entwickelte und in Wirklichkeit konstruierte, keineswegs bloss eine jener angehefteten oder angeklebten Zuthaten, an denen die moderne Architektur so reich ist.

Breitenentwicklung der Schlusssteine.

Wurde im vorstehenden gezeigt, wie weit die Höhenentwicklung des Schlusssteines getrieben werden kann, so ist andrerseits auch seine Breitenrichtung einer grossen Steigerung fähig. Besonders führt das Zusammentreten einer grossen Zahl von Rippen zu ausgedehnten Schlusssteinen. Bei manchen Werken der Übergangszeit, besonders bei den Westfälischen Kirchen zu Billerbeck, Leyden, auch bei der grossen Marienkirche zu Lippstadt und dem Dom zu Minden hat man das Zusammentreten von acht Rippen dadurch umgangen, dass man nur vier derselben zum Schlusspunkte führte, vier andere dagegen durch einen konzentrischen Kreis aufnahm, vergl. Fig. 211 aus der Kirche zu Billerbeck (nach Lübcke). Zu erwähnen sind an dieser Stelle ähnliche mehr spielende Ausbildungen der Wölbmitte, unter denen ein grosser radartiger Rippenschluss in einem Mittelschiffgewölbe des Domes zu Paderborn besonders hervorsticht.

Durchbrochene Schlusssteine.

Grosse Schlusssteine sind sehr oft durchbrochen, aber auch die kleineren haben vielfach Mittelöffnungen erhalten. Die Durchbrechungen können sehr verschiedenen Zwecken dienen, sie können zum Herablassen von Rüstseilen, Aufhängen


Schlusssteine.
Münster zu Freiburg.
216.
Kirche zu Gottsbüren.
217.
Mühlhausen.
219.
Dom zu Erfurt.
218.
220.
222.
Kirche zu Billerbeck.
221.
223 a.
223.
224.
Franziskanerkirche - Fritzlar.
224 a.
224 b.
225.
225 a.



von Kronleuchtern, zur Auslüftung des innern Raumes, schliesslich auch zum Aufziehen grösserer Gegenstände z. B. Glocken bestimmt sein. Bei Anordnung der Durchbrechungen zum Luftaustausch ist eine gewisse Sparsamkeit notwendig, denn besonders in kleinen Kirchen entsteht leicht ein unerträglicher Luftzug, der mindestens zum zeitweisen Verschliessen der Öffnungen führt.

An der inneren Leibung der Löcher läuft zuweilen wieder die Rippengliederung oder auch eine davon abweichende herum (s. Fig. 222). Häufig sind die Seitenflächen dieser Durchbrechungen auch einfach lotrecht, wie in Fig. 231, oder die Öffnungen bilden gewissermassen die Mitte einer Rosette wie in Fig. 232, oder sie sind in einer sonstigen Weise in das Ornament des Schlusssteines verwoben, wie in Fig. 216, wo die durchgearbeitete Mundöffnung eines Kopfes die Durchbrechung abgiebt.

Jene weiteren von einem Rippenkranz umschlossenen Mittelöffnungen im Gewölbe, welche zum Aufziehen grösserer Gegenstände auf die oberen Räume, wie Dachböden und Türme, erforderlich sind, wurden schon bei den Gewölben mit zusammengesetzten Rippensystemen angeführt. Die Öffnung selbst ist dann in der Regel durch eine dem Rippenkranz aufgelegte Steinplatte oder eine leichter hinwegzuräumende Brettafel verschlossen.

Ansätze der Rippen.

Bei langgestreckten Jochen werden zwischen den Rippenansätzen an zwei Seitenflächen des Schlusssteines bedeutende Zwischenräume sichtbar bleiben, während an den anderen Seiten die Rippenansätze dicht aneinander schliessen. In solchen Fällen sind zuweilen diese Zwischenräume mit aus der Seitenfläche der Schlusssteine hervorragenden Köpfen besetzt. Ein derartiges Beispiel aus der ehemaligen Franziskanerkirche in Fritzlar zeigt Fig. 223 in perspektivischer Ansicht. Derselbe Fall tritt ein bei den Schlusssteinen der sechsteiligen Kreuzgewölbe, wie z. B. im südlichen Kreuzflügel des Domes zu Wetzlar, und ferner bei denen der polygonen Chorgewölbe (s. Fig. 224). In beiden letzteren Fällen findet sich die gleiche, eine sehr glückliche Wirkung hervorbringende Anordnung solcher Köpfe. Viollet-le-Duc giebt mehrere französische Beispiele dieser Art.

Auf eine andere Weise lässt sich bei Chorschlüssen die Ungleichheit der Zwischenräume mindern, wenn der Schlussstein um ein geringes Stück z. B. a b in Fig. 224a, über den Mittelpunkt des Polygones hinausgerückt wird, wobei die Richtung der Rippen nach dem ersteren Punkte unverändert bleibt. Es wird dadurch aber ein schiefwinkliger und ungleicher Anschluss der Ansätze an den Cylinder herbeigeführt, ebenso werden auch die Höhen, in welcher diese Anschlüsse erfolgen, geändert.

Es würden in Fig. 224a die Mittellinien sämtlicher Rippen in ein und demselben Höhenpunkte a zusammentreffen. Da nun die Entfernung des Anschlusses der Rippe c b an den Schlussstein von a kleiner ist, als die des Anschlusses der Rippe d e von demselben Punkte, also a c kleiner als a e, so liegt b tiefer als e. Hiernach muss der Schlussstein eine grössere Höhe erhalten, als die durch den Anschluss einer Rippe bedingte, und es muss dieser Höhenzuwachs der Differenz der Höhen der Punkte c und e gleich sein. Ebenso treffen aber auch die Rückenlinien der Rippenquerschnitte in ungleichen Höhen an den Schlussstein und zwar selbst die beiderseitigen ein und derselben Rippe. So liegt der Punkt f höher als der von derselben Rippe gebildete Punkt g, und beide höher als die wieder ungleichen Punkte h und i. Hiernach würden auch die

Kappen nicht in einer wagerechten, sondern in einer von *h* nach *i* ansteigenden Linie an den Schlussstein schliessen, mithin der oben erwähnte vortretende Rand des Kernes (s. Fig. 211) nach einer derartigen Linie abgearbeitet werden müssen. Das ganze Verhältnis spricht sich deutlich aus in der perspektivischen Ansicht Fig. 224 b, in welcher der grösseren Deutlichkeit halber eine spitzere Form der Rippenbogen angenommen ist, als in Wirklichkeit vorzukommen pflegt, so dass die Ungleichheit der Ansätze sowohl, wie die dadurch hervorgebrachte geneigte Lage des vortretenden Kernrandes sich in einer übertriebenen Bestimmtheit zeigt.

Ganz ähnliche Verhältnisse liegen vor, wenn die Rippen verschieden steil anfallen. Fig. 225 wird dieses deutlich machen, es ist darin *c* der eigentliche Scheitelpunkt des Gewölbes. An der linken Seite der Figur sind zwei Rippenansätze gezeichnet, sie müssen beide nach *c* gerichtet sein. Der steilere trifft demnach den Schlusssteinmantel tiefer in *b a,* der flachere dagegen höher in *d e,* so dass die ganze Schlusssteinhöhe *b d* sein muss.

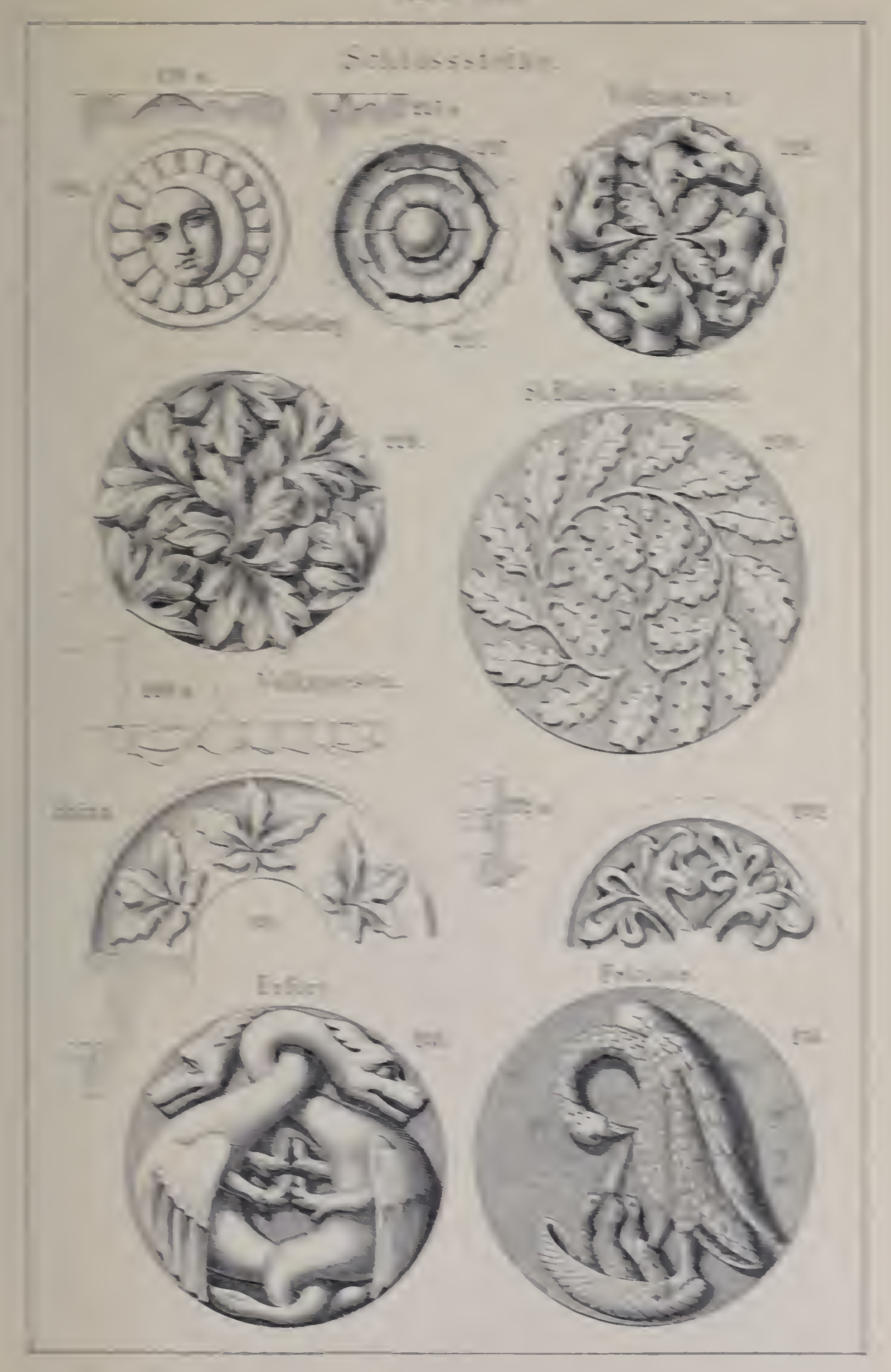
Alle diese Ungleichheiten lassen sich vermeiden, sobald die Rippenansätze an den Schlusssteinen einen Übergang in die wagerechte Richtung vermitteln, wie in Fig. 225 a, und die Bogen der einzelnen Rippen nicht nach den Punkten *c* geschlagen sind, sondern nach den Punkten *d* und *e,* welche durch die zuerst zu konstruierenden Schlusssteine gewiesen werden.

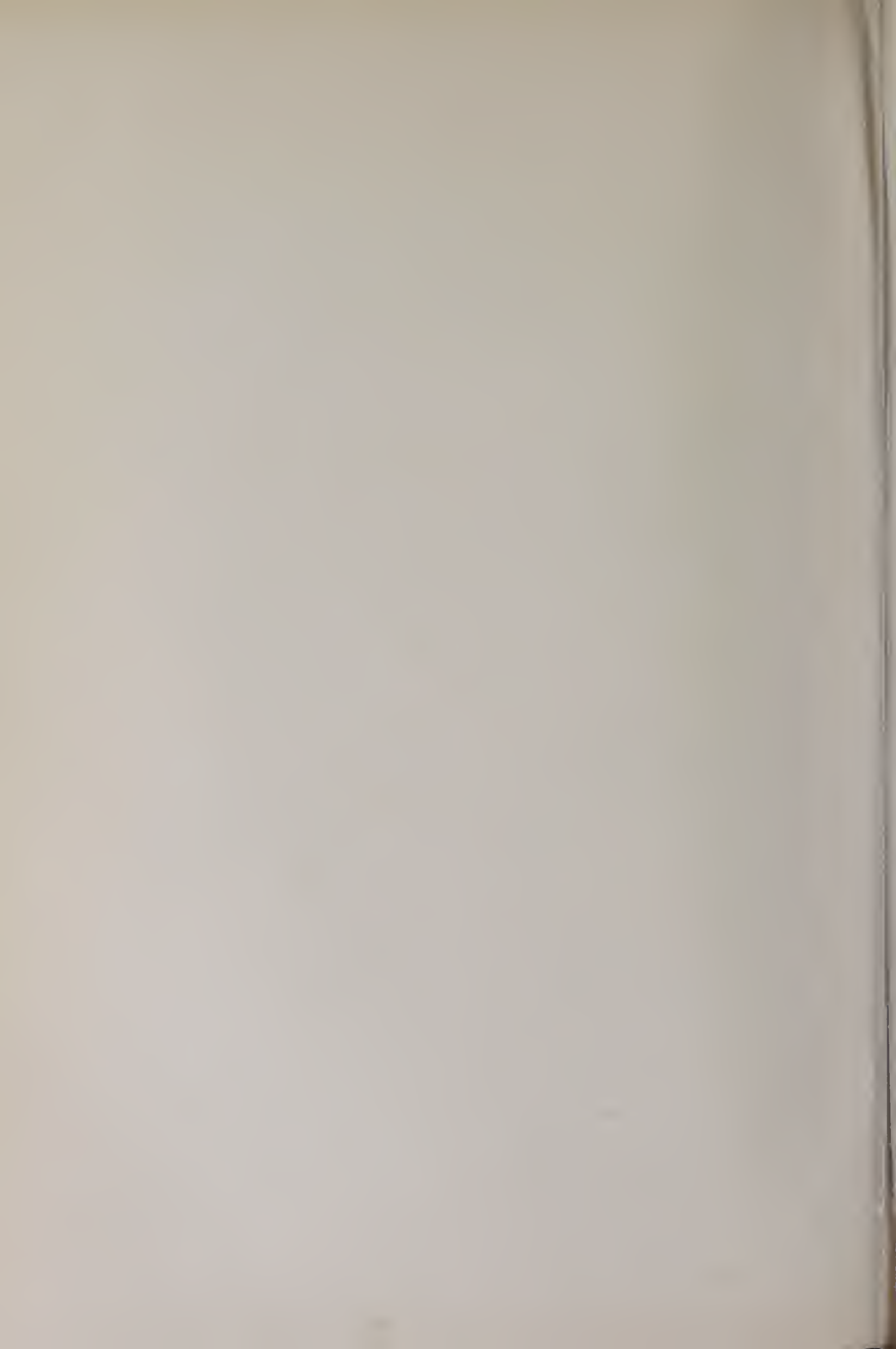
Architektonische Ausbildung der Schlusssteine.

Es erübrigt noch, einen Blick auf die architektonische Ausbildung der Schlusssteine zu werfen. In welcher Weise die Seitenflächen gestaltet, durch verschiedenartige Profile gegliedert bezw. durch vorspringende Köpfe usw. bereichert waren, ist schon an geeigneter Stelle gezeigt. Noch mehr bethätigt sich die künstlerische Schaffensfreude in der Behandlungsweise der unteren Fläche, hier hat die gotische Ornamentik ihren unerschöpflichen Reichtum auf das glänzendste bewährt. Diese Schlusssteine, gleichsam die Sonnen am Gewölbehimmel, finden sich häufig selbst in den dürftigsten Werken aufs reichste geschmückt und bilden die einzige Zierde derselben. Diese Wirkung wurde noch gesteigert durch die leider an den meisten Orten überweisste oder durch Schmutz unkenntlich gewordene Bemalung nicht allein der Schlusssteine selbst, sondern auch der zunächst daran stossenden Rippenteile. Es ist die Vernichtung dieser Farbenpracht um so beklagenswerter, weil auch die plastische Behandlung des Laubwerkes darauf eingerichtet war, dass sie in vielen, ja den meisten Fällen der Farbe bedurfte, um kenntlich zu sein, wogegen jetzt die einzelnen Blätter, nicht mehr durch die Farbe von einander geschieden, dazu durch den Rauch geschwärzt, völlig in einander fliessen.

Wir können hier nur die hauptsächlichen Behandlungsweisen aufführen und durch Beispiele erläutern, die aus den angeführten Gründen grösstenteils kleineren Kirchen, Kreuzgängen usw. entnommen sind. Die einfachste Ausbildung entsteht, wenn das Ornament in die Unterfläche des Cylinders vertieft hineingearbeitet ist, so dass es noch von einem in der Unterfläche liegenden Rande umschlossen wird.

Gestaltungen dieser Art finden sich mehrfach schon im Übergangsstile, wie an den Gewölben des Mainzer Domes, in späterer Zeit erscheinen sie hauptsächlich in sehr einfachen Werken. Ein Beispiel aus der Kirche in Trendelburg bei Karlshafen zeigt Fig. 226. Besser ist es, wenn das Ornament sich einer nach unten vorspringenden Scheibe einfügt, so dass seine Vertiefungen nicht weiter





als bis zur unteren Rippenflucht in den Kern hinauf reichen. Ein vertieft eingearbeitetes Ornament liegt dann entweder, wie bei Fig. 232 und 232a auf einer durch eine Gliederung zurückgesetzten Fläche oder wie bei Fig. 213 und 231 auf einer flach ausgehöhlten Unterfläche.

Häufig kommt es auch vor, dass sich das Laubwerk ohne umlaufende Gliederung stark vorspringend direkt der Unterfläche des Schlusssteines auflegt und nicht selten über die Ränder hinausgeht. Beispiele dieser Art zeigen die Figuren 227 aus der Kirche in Trendelburg, (wozu Fig. 227a der Durchschnitt), dann Fig. 228 und 229 aus der Kirche in Volkmarsen (zu letzterer Fig. 229a der Durchschnitt), Fig. 216 aus dem Dome in Freiburg, Fig. 230 aus St. Blasien in Mühlhausen. Zuweilen legt sich auch das Laubwerk einer die untere Fläche des Schlusssteines verdeckenden Scheibe auf, wie Fig. 218 aus dem westlichen Flügel des Kreuzganges in Erfurt zeigt.

Die Anordnung des Laubwerkes ist eine überaus verschiedene. Im einfachsten Falle stehen die Blätter radial und zwar von der Mitte nach dem Rande, seltener, wie in einzelnen Schlusssteinen von St. Blasien, in umgekehrter Richtung. Es entsteht hierdurch eine Rose, die entweder einfach oder, wenn mehrere Blattreihen angebracht sind, gefüllt ist. Die Anordnung solcher Rosen oder Rosetten hat den Vorteil der leichten Erkennbarkeit für sich und findet sich zuweilen geradezu als stilisierte Nachbildung einer Rose, wie der Schlussstein Fig. 227 aus dem XIV. Jahrhundert zeigt.

Anstatt der geradlinigen Stellung sind die einzelnen Blätter zuweilen seitwärts gebogen, wie in Fig. 228, oder in Büschel geordnet, wie in Fig. 232, oder sie sind derartig mit anders gerichteten Blättern gemischt, dass die Rosette völlig verschwindet, wie in Fig. 229 und 216, oder endlich es besteht das Ornament in einem der unteren Fläche aufgelegten und im Kreise herumgebogenen Zweige dessen Blätter dann die Fläche bedecken, wie in Fig. 230 und 218.

In den älteren Beispielen, wie Fig. 231, wird der Grund zwischen den einzelnen Blättern noch sichtbar und die Modellierung ist nur angedeutet, so dass das Blatt hauptsächlich durch seinen Kontur wirkt, während schon zu Ende des XIII. Jahrhunderts die Modellierung dermassen überhand nimmt, und die Blätter sich in so reichen Mustern an- und übereinanderlegen, dass der Grund fast verschwindet, aber auch die Erkennbarkeit des Ganzen leidet, wie in Fig. 228 und 216. In beiden Fällen ist jedoch noch eine Gesamtwirkung erhalten, in ersterem durch die regelmässige Anordnung, in letzterem durch den im Zentrum angebrachten Kopf. Noch ist darauf aufmerksam zu machen, dass die Wirkung eine wesentlich reichere wird, wenn die einzelnen Blätter sich wechselnd von den oberen und unteren Seiten zeigen, wie in Fig. 229, wodurch zugleich die verschiedene Färbung derselben motiviert wird. Sowie in Fig. 216 ein Kopf die Mitte des Schlusssteines auszeichnet, so bildet ein solcher nicht selten das ganze Ornament desselben in der Weise, dass zur Gewinnung einer regelmässigen Form entweder Haar und Bart benutzt oder letztere Teile durch Blätter ersetzt werden.

Überhaupt ist es das figürliche Ornament, welches den reichsten und schönsten Schmuck der Schlusssteine abgiebt. Hierher gehören zunächst die sym-

bolischen Darstellungen, wie die Zeichen der Evangelisten, der Pelikan (s. Fig. 234) aus dem Kreuzgange des Domes in Fritzlar, das Lamm mit der Kreuzfahne usw., dann Sonne und Mond (s. Fig. 226), oder auch mehr phantastische Tierbildungen s. Fig. 233 aus dem östlichen Flügel des Kreuzganges in Erfurt. Es ist bei solchen Gestaltungen besonders dem feinen ornamentalen Gefühle nachzustreben, welches die Bildungen der Alten leitete. So sind alle diese Tiere mit bewunderungswertem Verständnis stilisiert, es ist von den natürlichen Eigentümlichkeiten derselben gerade so viel herausgenommen, wie zur Bezeichnung derselben nötig war, und dann durch eine schärfere Betonung dieser Eigentümlichkeiten, durch Weglassung aller indifferenten Teile eine Darstellung gewonnen, welche den beabsichtigten Gegenstand in schärferer Weise zum Ausdruck bringt. Den entschiedensten Gegensatz zu dieser Behandlungsweise bilden so manche moderne Wappenzeichen, welche in möglichst naturalistischer Weise gebildet, das Charakteristische so unbestimmt erscheinen lassen, dass dadurch die drolligsten Verwechselungen herbeigeführt worden sind. So ist der Löwe, wie er jetzt dargestellt wird, mit metallenen Haaren bedeckt, kaum noch in der geringsten Entfernung erkennbar, die Haare wirken nicht in klarer Umrissform, sie bilden nur einen Auftrag der Masse. Der Umriss, welcher alle natürlichen Feinheiten wiedergeben soll, verliert an Bestimmtheit, an Energie, die Bewegung wird lahm, und der ganze Eindruck ist weit entfernt, dem Begriffe des Löwen im mindesten zu entsprechen. Ebenso verhält es sich auch mit anderen Wappenbildern, sowie mit den meisten jener Tierbildungen, welche einen integrierenden Bestandteil des modernen Ornamentes abgeben. Hier, wie in so vielen Fällen, stimmt die mittelalterliche Darstellungsweise mit der antiken, der modernen gegenüber, völlig überein. So finden sich z. B. in der Sammlung römischer Altertümer und Gipsabgüsse in Mainz einzelne auf Helmen, Schilden usw. eingravierte Tierbildungen, die beinahe für mittelalterliche Zeichnungen gehalten werden könnten.

Figuren finden sich auf den Schlusssteinen schon in der ersten Zeit, besonders die heilige Jungfrau, die Patrone der Kirche oder des Ordens, Engel usw., oft aber auch irgend eine Darstellung aus der heiligen Geschichte, besonders häufig die Marienkrönung. Zuweilen ist der ausser den Figuren noch bleibende freie Raum auf den Schlusssteinen mit Laubwerk gefüllt, welches die Figuren umrankt. Von der grössten Schönheit sind die derartigen Beispiele in dem *dictionnaire raisonné* von Viollet-le-Duc. Auch die Wappen der Gründer, selbst Stadt-, Familien-, Landeswappen finden hier ihren Platz. Zuweilen finden sich selbst leere Schilde, in denen die Wappenbilder ursprünglich nur gemalt waren. Siehe Fig. 217 aus der Kirche in Gottsbüren.

Unterhalb des Wölbscheitels gelegene Rippenkreuzungen.

Zusammenschnitte der Profile.

Bei Stern- und Netzgewölben entstehen Rippenschnitte, die tiefer liegen als der Wölbscheitel; dieselben geben stets Anlass zu unregelmässigen Bildungen, gleichviel ob sie aus einer blossen Durchdringung entstehen, oder an einen Schlussstein anlaufen. Die Schwierigkeiten entspringen daraus, dass sich die Rippenquer-

schnitte nicht senkrecht gegen die jedesmalige Wölbrichtung setzen, Fig. 235, sondern überall lotrecht nach unten gerichtet sind, Fig. 236.

Dieser Unterschied macht sich wenig oder gar nicht für die Diagonalrippen bemerkbar, sehr stark dagegen für die quer laufenden Rippen. In Fig. 235, wo die Querrippe sich senkrecht gegen die Wölbrichtung setzt, schneiden die Gliederungen beider Rippen regelrecht ineinander, in Fig. 236 dagegen findet eine gesetzlose Durchdringung statt. Man legt die Rippen so, dass wenigstens ihre tiefsten Kanten in einem Punkte *m* zusammenschneiden.

Trotz des unbequemen Zusammenschnittes ist letztere Rippenlage vorherrschend gewesen, es hat das seinen Grund darin, dass die radiale Rippenanordnung zu anderen grösseren Schwierigkeiten führt, sie erschwert das Aufstellen der Lehrbogen sowie das Zurichten und Versetzen der Rippen und leitet schliesslich auf gebogene Grundrissprojektionen der Rippen, wie sie in der Spätzeit ja thatsächlich ausgeführt sind.

Die unregelmässige Durchdringung der Rippenglieder, welche in allen Netzgewölben beobachtet werden kann, ist nicht sehr hinderlich, sie erhöht selbst die Mannigfaltigkeit ihres Aussehens. Die eigentliche Schwierigkeit erwächst aus dem Anschlusse der Kappen an die Rippenrücken, die am Durchschnittspunkte in verschiedener Höhe liegen.

Die Kante *r* der Querrippe erhebt sich in Fig. 236 um das Stück *rs* über den Rücken der anderen Rippe. Demnach verlangt die Querrippe, dass die Kappe in der Höhe *r*, die Hauptrippe dagegen, dass sie in der Höhe *s* ansetzt. Diese Forderungen lassen sich nur dadurch vereinigen, dass der tiefer liegende Rücken durch eine keilförmige Aufsattelung *fr* auf gleiche Höhe gehoben wird oder allenfalls dadurch, dass die andere Rippe in ihrer Höhe verkümmert wird.

An der anderen Seite der Querrippe liegt das Verhältnis umgekehrt, hier liegt der Rücken *o* der letzteren um das Stück *op* zu tief. Es muss demnach hier die Querrippe eine einseitige Aufhöhung erfahren, die entweder durch eine seitwärts steigende Oberfläche (Fig. 237) oder durch einen Absatz (Fig. 238), schliesslich bei Vorhandensein einer Widerlagsleiste durch verschieden hohe Absätze zu beiden Seiten derselben (Fig. 239) erzielt werden kann. Der ganze Kreuzpunkt würde unter Annahme des nach Fig. 238 abgesetzten Rückens die in der perspektivischen Fig. 240 gezeigte Gestalt haben.

Eine andere Rippenkreuzung ist in den Figuren 242 bis 242c dargestellt, sie entspricht dem Grundrisspunkte *A* im Netzgewölbe Fig. 241. Die Kreuzung ist gegen die Achse *MM* zu beiden Seiten symmetrisch gebildet. Fig. 242a zeigt, wie für die beiden unteren Rippenansätze eine Aufsattelung erforderlich wird, Fig. 242c stellt das Werkstück dar für den Fall, dass ein Widerlagssteg auf dem Rücken der Bogen vorhanden ist. Der Zusammenschnitt von mehr oder weniger als vier Rippenenden vollzieht sich nach den gleichen Gesichtspunkten. In der Regel bestehen diese Knotenpunkte der Stern- und Netzgewölbe in einer einfachen Durchkreuzung, während nur in den Scheitellinien wirkliche Schlusssteine angeordnet sind. Zuweilen aber finden sich in den Winkeln zwischen den Rippenansätzen Blätter oder Blattbüschel. Dieselbe Gestaltung kommt indes auch bei den im Scheitel befindlichen Schlusssteinen vor. Ebenso ist die untere Ansicht der Durchkreuzungen zuweilen verdeckt durch eine davorliegende mehr oder weniger reich verzierte Scheibe.

Verdecken der Kreuzpunkte.

Seltener dagegen ist die Durchkreuzung vermieden durch einen cylindrischen Kern. Die Stellung dieses Cylinders muss strenggenommen senkrecht nach unten gerichtet sein. Der Umstand, dass die Rippenansätze sich schräg übereinander gegen den Kern setzen, kann auch darauf führen, denselben geneigt anzuordnen.

Es ist aber unverkennbar, dass die lotrechten Seitenflächen der Rippenprofile zu der geneigten Mantelfläche des Cylinders in einem Widerspruche stehen und hierdurch die ganze Anordnung zu einer gesuchten wird, und dass daher eine einfache, etwa mit Laubwerk verdeckte Durchdringung ungezwungener wird. Eine überaus reiche und glückliche Behandlung solcher Knotenpunkte zeigt das Chorgewölbe der Martinskirche in Kassel, in welchem die zwölf Kreuzungen der Rippen durch die den betreffenden Werkstücken angemeisselten Figuren der zwölf Apostel verdeckt sind, während der Schlussstein des Ganzen das Kruzifix trägt.

Bildungen der Spätzeit.

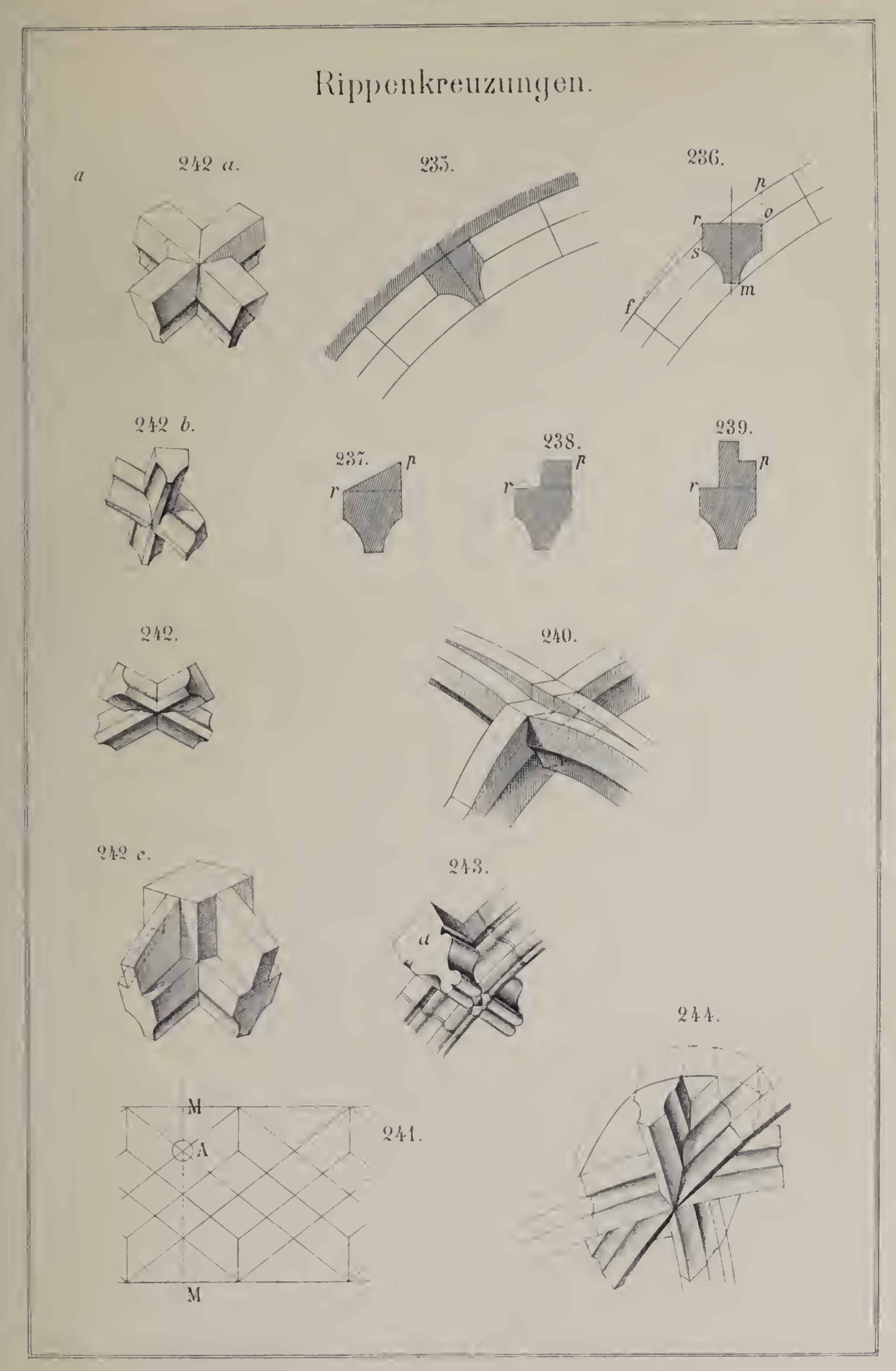
In einzelnen Werken der Spätgotik sind Rippendurchdringungen so absichtlich gesucht und gesteigert, dass man eine jede sich nicht über den Knotenpunkt hinaus fortsetzende Rippe aus rein dekorativer Absicht ein kurzes Stück über denselben hinaus gehen liess und dann winkelrecht abschnitt, s. Fig. 244. Auch hierfür lässt sich eine gewisse Begründung versuchen. Es konnte nämlich richtiger erscheinen, den Teil des Werkstückes, welcher zwischen den Rippenansätzen wegfallen musste, in der Flucht der Kappen stehen zu lassen und hiernach die hinwegzuarbeitende Steinmasse noch durch jene abgeschnittenen Rippenstücke zu verringern.

Aber man ging noch weiter, indem man in einzelnen Fällen da, wo der Gewölbegrundriss kein Zusammenstossen, keine Durchkreuzung der einzelnen Rippen mit sich brachte, wo diese letzteren also ganz einfach ihre Bahn zu verfolgen hatten, ihnen gewissermassen einen Haltpunkt vorzeichnete, indem man sie mit einem nach demselben Profile gebildeten kurzen, zu beiden Seiten abgeschnittenen Rippenstücke *a* in Fig. 243 rechtwinkelig kreuzen liess. Wir haben nicht die Gelegenheit zur näheren Untersuchung einer derartigen Konstruktion gehabt, die sich z. B. in der Katharinenkirche zu Eschwege findet. Immerhin ist es nicht unwahrscheinlich, dass man den flach unter den Kappen gespannten Rippen einen gewissen Verband mit dem Kappengemäuer durch eben diese grösseren, vielleicht durch die Kappendicke fassenden Kreuzungsstücke sichern wollte. Es entsprächen diese den in einzelnen frühgotischen Kirchen Westfalens den Rippenbogen in Abständen eingefügten und durch die Kappen fassenden Cylindern, die ähnlich den Bunden an den Säulen und Diensten des Übergangsstiles und der Frühgotik ein Einbinden bewirken sollten.

8. Die Gewölbeanfänge.

Es sind Gewölbeanfänge die untersten Teile der Wölbungen, soweit sie mit Mauer oder Pfeiler in Verbindung stehen und deshalb gleichzeitig mit diesen aufgeführt werden, während die Herstellung des eigentlichen Gewölbes erst später, nachdem das Ganze unter Dach gebracht ist, zu erfolgen hat.

Im Altertume und im frühen Mittelalter schieben sich die unteren Enden der Bogen und Gewölbe meist in freier Entfaltung in das Fleisch des tragenden Mauerwerkes hinein. Siehe Fig. 245. Es ist diese Anordnung sicher und gut, wenn sich auf das untere Bogenende kein aufsteigendes Mauerwerk stützt, wenn also die hochgeführte Obermauer sich auf die Flucht *nn* zurücksetzt. Wenn dagegen der Mauerkörper sich oben in gleicher Stärke fortsetzt, so ruht er teilweise


Rippenkreuzungen.
a
242 a.
235.
236.
p
r
o
s
m
f
242 b.
237.
p
r
238.
p
r
239.
p
r
242.
240.
242 c.
243.
a
244.
M
A
241.
M



auf dem Bogenrücken und findet hier einen unzuverlässigen Aufstand. Sobald sich die Fuge zwischen Bogen und Mauer lockert, liegt bei dünnen Wänden die Gefahr eines einseitigen Senkens der Mauer vor. Dieser Fall kann in bedenklicher Weise für die Mittelmauern einer mit Tonnengewölben überdeckten Basilika oberhalb der Seitenschiffgewölbe eintreten. Noch verhängnisvoller gestaltet sich die Anordnung da, wo in einen hoch geführten stark belasteten dünnen Pfeiler, von beiden Seiten Arkaden- oder Scheidebogen einschneiden — vergl. Fig. 246. Der schwere Oberpfeiler schiebt sich genau so wie ein eingetriebener Keil zwischen die Bogenäste, drängt diese auseinander und zermalmt bei *A* die unteren Zwickelsteine, bis bei fortgesetztem Nachrücken der Einsturz erfolgt. Bei mehrfachen neuen Bauausführungen sind Unfälle durch diesen Vorgang herbeigeführt. Man kann die gefährdete Stelle zwar dadurch sichern, dass man Pfeiler und Bogenenden in gutem Zementmörtel mauert und somit zu einem gemeinsamen Steinklotz macht; auch kann die Keilwirkung durch Abtreppen der Bogensteine (Fig. 247) abgeschwächt werden; weit zuverlässiger sind aber die folgerichtig abgeleiteten Konstruktionen, welche das Mittelalter eingeführt und erprobt hat.

Gefährdung und Sicherung der Anfänge.

Die romanische Kunst suchte, wo es anging, in wirksamster Weise dadurch Abhülfe zu schaffen, dass das Einschneiden der Wölbanfänge in das Mauerwerk ganz gemieden ward, indem die Gurte und auch wohl Gewölbegrate auf weit vorgezogene Vorlagen gestützt wurden. Fig. 248. Dieser Ausweg war natürlich der sicherste, soweit es ging, behielt ihn auch die Gotik bei.

Die Vorlagen beengten aber nachteilig den unteren Raum, besonders machten sie die Schiffspfeiler unerwünscht stark. Man suchte zunächst die Vorlagen durch starke Ausladung der Kapitäle, auch wohl durch teilweise Verwendung von Kragsteinen unten dünner zu machen als die obere Gewölbgliederung. Das genügte aber nicht immer, man sah sich vielmehr häufig genötigt, auch noch die Gewölbeanfänge mindestens teilweise in die Mauer hineinzuschieben. Man liess sie nun aber — und das war der Erfolg der neuen Konstruktionsweise — fest mit der Mauer verwachsen. Siehe Fig. 249 und 250. Die Fugen waren im Innern in der Breite der Obermauer wagerecht, in der Ausladung setzten sie sich entweder horizontal fort (siehe *a* und *b* in Fig. 250) oder sie waren hier radial umgebogen (*c* und *d*).

Die Fugen dürfen nur horizontal durchlaufen, wenn der Kantenwinkel vorn nicht zu spitz wird und wenn ein Gleiten der Werkstücke aufeinander nicht zu befürchten ist. Ein Gleiten bezw. Fortschieben des oberen Steines auf dem unteren ist aber möglich, wenn der Winkel a in Fig. 251 zwischen der Richtung des Wölbschubes und der Senkrechten zur Fuge grösser als der Reibungswinkel wird. (Bei Stein und weichem Mörtel etwa 30°, bei erhärtetem Mörtel mehr.)

Die den Anfang eines Kreuzgewölbes bildenden Werkstücke sind so gross als irgend thunlich zu machen, damit der hier vereinte starke Wölbschub sich gleichmässig und rasch auf eine möglichst grosse Fläche des stützenden Mauerwerkes überträgt. Bei Backstein empfiehlt sich, wo es angängig ist, für den Wölbanfang ein Werkstein, sonst muss auf harte Ziegel, festen Mörtel (neuerdings Zement oder Trass) und auf guten Verband gesehen werden. Besonders ist auf sorgfältige Ausführung zu achten, wo Rippenprofile aus Formsteinen sich am Anfange zusammendrängen.

Anfänge von Ziegelrippen

Es sei Fig. 252 der Rippenquerschnitt, so wird, wenn Fig. 253 den Grundriss des Rippenanfanges anzeigt, die Ausführung desselben in der Weise bewirkt, dass von dem Gurtrippenziegel das Stück *a d c*, von dem Kreuzrippenziegel das Stück *a b c* weggeschlagen wird, und so die einzelnen Ziegel der untersten Schicht, die in der rechten Hälfte der Figur angezeigte Gestaltung annehmen. In der folgenden Schicht werden die Ziegel zur Herstellung des Verbandes in anderer Weise zugehauen.

Rippenanfänge aus gegliederten Formziegeln nötigen dazu, die Fugen fast von der ersten Schicht an radial zu richten, die einzelnen Steine behaupten alsdann beim Mauern trotz der geneigten Lage ihren Platz durch die Bindekraft des Mörtels. Wo aber die Gewölbe später geputzt werden sollen und der Anfang aus gewöhnlichen Steinen zugehauen wird, ist es besser die ganze Höhe, mindestens aber den unteren Teil des Gewölbeanfanges aus horizontalen Schichten auszukragen.

Anfänge rippenloser Gewölbe.

Die für Ausführung des Wölbanfanges zu befolgenden Vorschriften finden natürlich auch auf rippenlose Gewölbe Anwendung. Der Anfang ist bei ihnen bis zu der Stelle zu rechnen, wo sich der Kappenrücken aus dem Mauerwerke ablöst. Sind bei rippenlosen Ziegelgewölben die bei diesen üblichen oben vorspringenden Verstärkungsgrate vorhanden, so reicht für sie natürlich der Anfang bis zu deren Freiwerden aus der Mauerecke hinauf. Am besten wird der Anfang in dieser ganzen Höhe gleich mit aufgemauert.

Die Höhe des Anfanges für den Verstärkungsgrat bestimmt man durch Antragen seiner Querschnittsfläche *a g* an die Verlängerung des Diagonalgrates *a x* im Grundrisse Fig. 254, durch Heraufholen des Gratbogens *a' x'* und *g' i* (Fig. 254b) aus dem Grundrisse und Errichten eines Lotes in *a'*, welches den Bogenrücken in *i* trifft. Es ist *a' i* die Höhe, bis zu welcher der Gewölbeanfang mit der Mauer in Verbindung steht, mithin muss das entsprechende Stück des Lehrbogens gleich bei Aufführung der Mauer in der erforderlichen Höhe aufgestellt und darauf der untere Kappenzwickel hingemauert werden (vgl. Fig. 254 c). In der Praxis wird bei Ziegelgewölben besonders bei flachen, der Anfang oft nicht gleich mit hochgenommen, er muss dann aber um so sorgfältiger später eingesetzt werden.

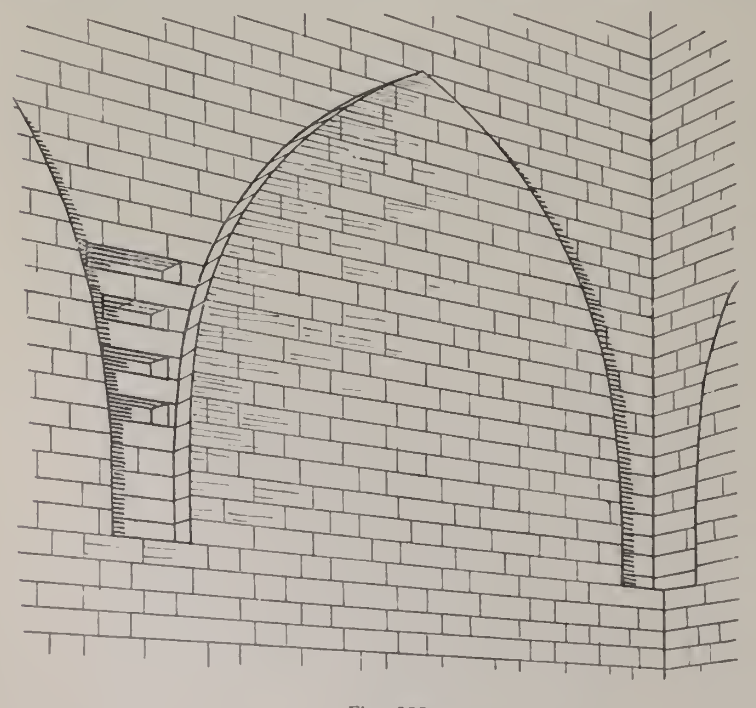
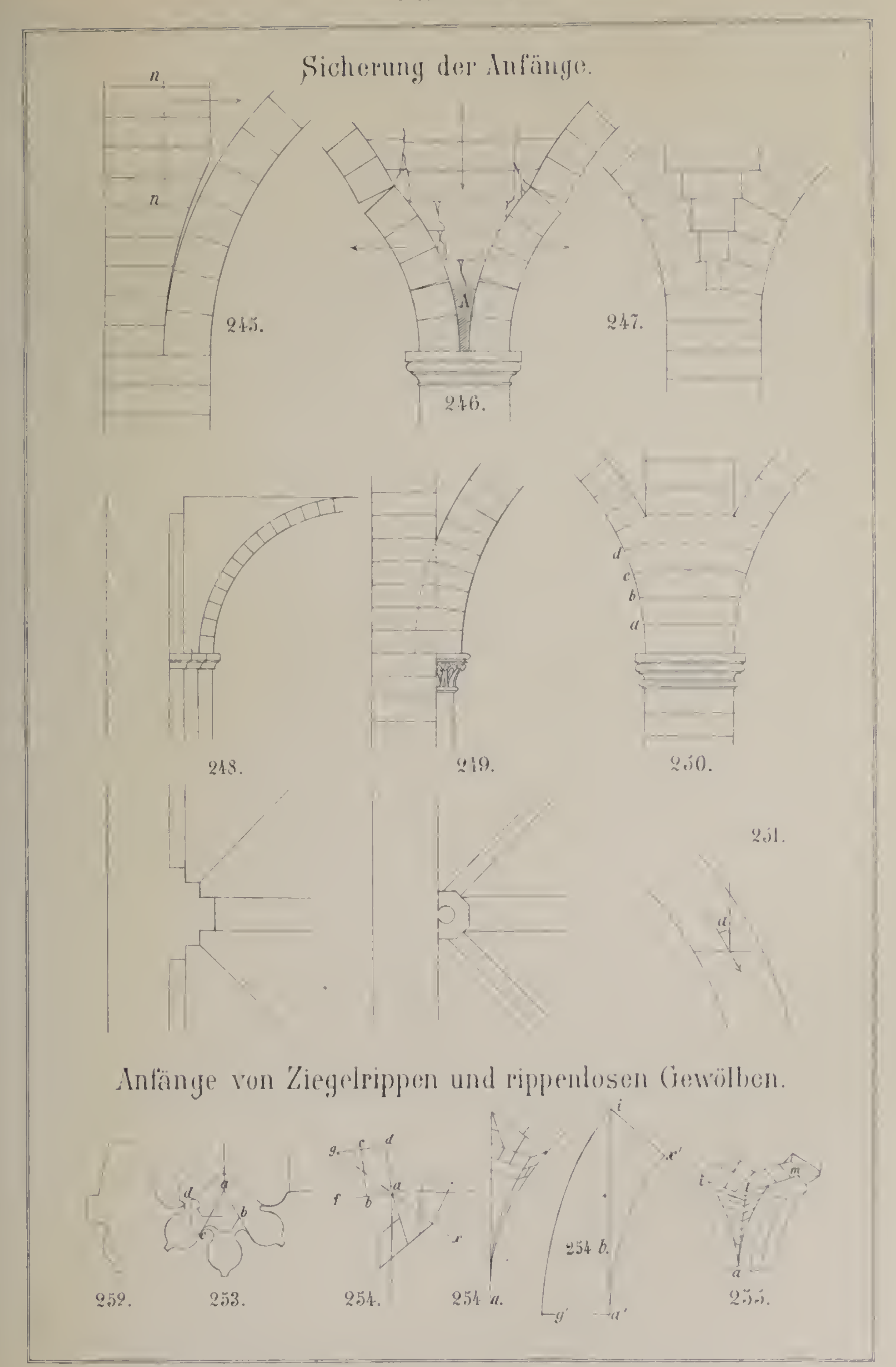


Fig. 255 a.

Wenn mehrere Joche aneinander stossen, die durch Gurtbogen geschieden sind, so müssen diese, falls sie eine Obermauer tragen, gleichzeitig mit dem auf-

Tafel XXIV.


Sicherung der Anfänge.
245.
246.
247.
248.
249.
250.
251.
Anfänge von Ziegelrippen und rippenlosen Gewölben.
252.
253.
254.
254 a.
254 b.
255.



gehenden Mauerwerke fertig zugewölbt werden. Wenn sie nur zur Verstärkung des Gewölbes dienen, so genügt es, sie bis zur Höhe des daran stossenden Kappenanfanges heraufzunehmen, so dass Fig. 255 die perspektivische Ansicht eines solchen Anfanges zeigt.

Da die Aufführung der Gewölbeanfänge bei Herstellung der Mauern praktisch oft unbequem ist, hat man vielfach das ganze Gewölbe mit Einschluss des Anfanges erst nachträglich eingesetzt. Es setzt das voraus, dass der Schildbogen einen Rücksprung erhält, und dass die Zwickel nachträglich gut einbinden. Zu letzterem Zwecke ist vielfach in dem zurückliegenden Mauerwerke eine Verzahnung gelassen, wie Fig. 255a zeigt. Das nachträgliche Einmauern des ganzen Gewölbes war besonders im Ziegelbau verbreitet, findet sich aber auch bei Bruchstein- und selbst Werksteingewölben mit und ohne Rippen. Sorgfältige Ausführung nachträglich eingemauerter Wölbzwickel ist natürlich geboten, obgleich die Gefahr einer Zerstörung der Zwickel dadurch gemindert wird, dass der Wölbschub nicht in der unteren Spitze des Anfanges sondern schon weiter oben in die Wand übertritt und sich das Gewölbe somit oberhalb der unteren Zwickel zwischen die Wände einspannt.

Anfänge der Rippengewölbe.

Komplizierter und verschiedenartiger gestalten sich die Anfänge bei den Rippengewölben aus Werkstein. Schon beim gewöhnlichen Kreuzgewölbe mit vortretenden Schildbogen kommen auf einen Gewölbeanfang aus dem Winkel des Raumes drei, aus der Wandfläche fünf und aus einer vorspringenden Ecke sieben Bogen. Diese Bogen können sich wie in der romanischen Zeit frei nebeneinander auf die Deckplatte des Kapitäles oder Kragsteines stellen (Fig. 256), oder ihre Grundrisse können mehr oder weniger miteinander verwachsen (Fig. 257).

Im ersteren Falle ist von einem mit der Mauer gleichzeitig aufzuführenden Rippenanfange nicht die Rede. Es brauchen nur Kapitäl oder Kragstein bei Herstellung der Mauer versetzt und die Schildbogen zugleich mit ihr ausgeführt zu werden, während die übrigen Rippen, für deren Auflager auf dem Kragstein der erforderliche Platz vorhanden sein muss, erst dann aufgestellt werden können, wenn das Gewölbe geschlossen werden soll. Ein fester Verband der Bogen mit der Mauer fällt fort. Einesteils aber ist diese Verbindung, besonders bei beträchtlicher Spannung, zur sicheren Übertragung des Gewölbeschubes erwünscht, und andererseits bedingt die grosse, durch die einzelnen Rippen beanspruchte Fläche eine weite Ausladung vor der Mauerflucht, welche unten entweder die Anlage von beengenden Wandpfeilern oder die einer mächtigen und hohen Auskragung erfordert, mithin bei mässigen oder beschränkten Dimensionen hinderlich wird. Aus beiden Gründen sind in den Werksteinanfängen der gotischen Kunst, im Gegensatze zu der romanischen, die Rippengrundrisse in der Höhe der Grundlinie in der Regel miteinander und mit der Mauer verwachsen und trennen sich erst in derjenigen Höhe voneinander, in welcher die Rippen den hierzu erforderlichen Weg in horizontaler Richtung zurückgelegt haben.

Es sind dabei hauptsächlich zwei Punkte zu berücksichtigen. Erstlich muss der Rippenanfang der Fläche, auf welcher er aufsitzt, sich leicht und füglich einbeschreiben. Es wird daher sein unterer Grundriss zunächst danach

einzurichten sein, ob für jede Rippe ein besonderer oder für alle ein gemeinsamer Dienst oder Kragstein angeordnet ist. Im ersteren Falle folgt die polygonale Gestaltung der Platte jedem einzelnen Rippengrundrisse, während im anderen die Gesamtheit der Rippengrundrisse der Gestaltung der Kapitälplatte entsprechen muss. Der zweite zu berücksichtigende Punkt betrifft die obere Fläche des Rippenanfanges und liegt darin, dass es für die Ausführung der Kappen von Vorteil ist, wenn die äussersten Punkte der verschiedenen Rippen möglichst in einer und derselben Höhe voneinander frei werden. Die Erfüllung dieser Bedingung hängt ab von der Gestaltung des unteren Grundrisses. Die Möglichkeit derselben ist wohl in allen Fällen gegeben; bei unregelmässiger Grundform der Joche aber nur schwer und durch fortgesetztes Probieren erreichbar, und kann dem unteren Grundrisse eine so unpassende Gestaltung aufzwingen, dass oft besser davon abzugehen ist.

Je regelmässiger das Auseinanderwachsen der Glieder und das Loslösen der Profile voneinander vor sich geht, um so schöner wird das Aussehen und um so leichter ist die Herstellung der Werkstücke.

Bedingungen des regelmässigen Auseinanderwachsens.

Ein durchaus regelmässiges Auseinanderwachsen der Bogen tritt dann ein, wenn die nachstehenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind, und zwar:

1. im Grundrisse sich die Mittellinien aller Bogen in einem Punkte schneiden,
2. alle Winkel zwischen den Bogenrichtungen einander gleich sind,
3. sämtliche Bogen gleichen Querschnitt haben,
4. alle Bogen mindestens im unteren Teile mit ein und demselben Halbmesser geschlagen sind, wobei entweder alle Bogen gar nicht oder alle gleich hoch aufgestelzt sind.

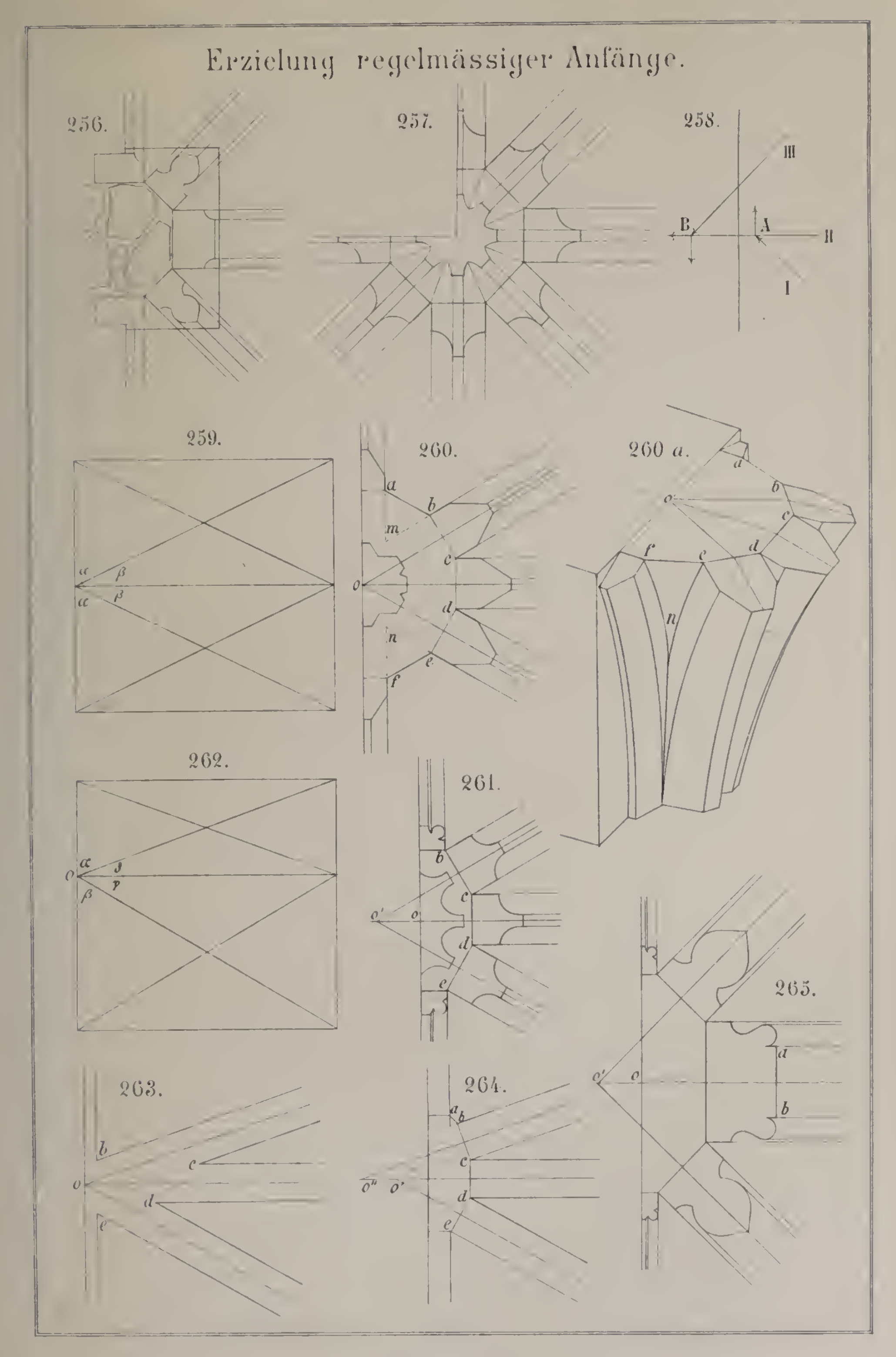
Das Streben, diesen Bedingungen möglichst Rechnung zu tragen, hat die Weiterentwickelung des gotischen Gewölbes merklich beeinflusst, vollständig ist ihm genügt in dem Fächergewölbe. Das gewöhnliche Kreuzgewölbe kann nur dann alle Punkte vereinen, wenn es über quadratischen Jochen geschlagen ist. Fig. 257 zeigt einen Gewölbeanfang beim Zusammentreten von drei quadratischen Jochen der allen obigen Bedingungen nachkommt.

Die meisten Gewölbe, besonders die frühgotischen, vereinen die obigen Bedingungen einer regelmässigen Anfangsbildung nicht, ja sie weisen oft keine einzige derselben auf. Trotzdem lassen sich durch geschickte Lösungen meist die entstehenden Unregelmässigkeiten so weit einschränken, dass sie nicht lästig stören. Um einen Anhalt für die Bekämpfung der Schwierigkeiten beim Entwerfen zu bieten, möge eine kurze Erläuterung der aufgeführten 4 Punkte hier Platz finden.

1. Schnitte der Mittellinien der Bogen im Grundrisse in einem Punkte. Der Schnittpunkt liegt am einfachsten in der Mauerflucht bezw. der Mauerecke (Fig. 257, 260), jedoch führen oft (unten zu erläuternde) Gründe dazu, ihn weiter zurückzusetzen (Fig. 261 und Fig. 265).

Wenn sich ein Zusammentreffen aller Bogenrichtungen in einem Punkte nicht erreichen lässt, vielmehr zwei oder mehr Schnittpunkte entstehen, so können die Schubkräfte der Bogen, wie der Grundriss Fig. 258 zeigt, eine Drehwirkung erzeugen. Der Schub *I* will den Punkt *A* nach der einen, der Schub *III* den Punkt *B* nach der andern Seite drehen. Diese Wirkung ist aber, wenn der Abstand der Punkte *A* und *B* nicht gar zu gross ist, ganz ungefährlich. Auch in der Erscheinung macht sich eine geringe Exzentrizität nicht sehr bemerklich. Deshalb wird oft sogar

Tafel XXV.



Erzielung regelmässiger Anfänge.
256.
257.
258.
III
B
A
II
I
259.
260.
260 a.
262.
261.
265.
263.
264.



mit Absicht eine Verschiebung der Schnitte vorgenommen, um andere grössere Unregelmässigkeiten aufzuheben, wie bald bei Fig. 264 gezeigt werden soll.

2. Gleichheit der Grundrisswinkel zwischen den Bogenrichtungen. Trotz der grossen Vorzüge, welche gleiche Grundrisswinkel bieten, sind dieselben meist verschieden. Dieser Fall tritt schon bei Kreuzgewölben über rechteckigen Feldern ein; in Fig. 259 sind die Winkel α merklich grösser als β. Fig. 260 zeigt die Aufsicht auf die obere Fläche, und 260a die perspektivische Ansicht des zugehörenden Gewölbeanfanges. Rippen und Gurt trennen sich in gleicher Höhe in den Punkten c und d, dagegen haben sich Rippe und Schildbogen schon in dem weit tiefer liegenden Punkte m bezw. n getrennt. Die Kappenzwickel setzen demnach in verschiedener Höhe an, an der Stelle, wo die beiden vorderen Zwickel in c und d beginnen, haben die seitlichen schon die Breite $a\,b$ bezw. $e\,f$ erreicht. Diese seitlichen Kappenanfänge müssen mit aus dem Werkstücke gearbeitet werden, erst über der Linie $a\,b$ beginnt das Kappengemäuer. Konstruktiv bietet der verschieden hoch liegende Beginn der Kappen keinen Nachteil, wo dagegen aus Gründen des guten Aussehens ein Loslösen in gleicher Höhe erzielt werden soll, kann durch Zurücksetzen des Schnittpunktes O nach O_1 in Fig. 261 Abhülfe geschaffen werden. Die Kappen beginnen nunmehr in gleicher Höhe in den Punkten $b\,c\,d\,e$. Es ergeben sich dagegen leicht Unregelmässigkeiten für das untere Verwachsen des Schildbogens mit der Rippe, falls nicht ersterer einen geeigneten Halbmesser bekommt oder gestelzt wird. Auch hat ein zu weites Zurücksetzen des Punktes O' leicht den Nachteil, dass sich unten die Bogen sehr rasch in die Wandfläche hineinschieben. Aus diesem Grunde ist es vielfach das beste, den verschieden hohen Ansatz der Kappen ruhig zu belassen, die Perspektive 260a zeigt, dass die Wirkung durchaus nicht so sehr abstossend ist.

Gar nicht vermeiden lässt sich ein verschieden hohes Ansetzen der Kappenzwickel da, wo zwei ungleich breite Felder zusammentreten. Fig. 262 zeigt einen solchen Grundriss, in dem alle vier Winkel verschieden sind. Die Anfänge der Kappenzwickel würden, wenn die Mittellinien der Bogen sämtlich nach dem Schnittpunkt O geführt werden, jeder in anderer Höhe sich ablösen (Fig. 263). Durch ein Verschieben der Mittellinien der Bogen derart, dass sie sich in zwei verschiedenen Punkten O' und O'' hinter der Mauerflucht schneiden (Fig. 264), lassen sich die drei Trennungspunkte $c\,d\,e$ in gleiche Höhe bringen, bei $a\,b$ dagegen ist ein tiefer gelegener Zwickelanfang nicht zu umgehen.

3. Gleichheit der Bogenquerschnitte. Wie an anderer Stelle erwähnt, sind gleiche Querschnitte für Gurt und Rippe bei einigen der frühesten Werke, dann aber wieder vorwiegend in der späteren Gotik zur Anwendung gekommen. Sonst bildet Unterscheidung von Gurt und Rippe die Regel.

Am regelmässigsten entwickelt sich natürlich der Anfang, wenn alle Bogen gleich sind (Fig. 257). Jedoch ist der Einfluss der grösseren Gurtbreite, wenn sonst keine Erschwerungen vorliegen, sehr leicht durch ein entsprechendes Zurücksetzen des Schnittes der Bogenmittellinien nach o' auszugleichen (Fig. 265). Wäre der Schildbogen so breit wie der halbe Gurt, so würde der Schnittpunkt o' regelrecht in die Mauerflucht rücken.

Mehr Schwierigkeiten macht das Zusammendrängen der Gurt- und Rippenglieder auf der Kapitälplatte. Ein breiter von der Form des Rechteckes wenig abweichender Gurt lässt sich unten überhaupt nicht sehr einziehen, mindestens muss die Unterfläche $a\,b$ ungeschmälert bleiben. Dieser Umstand erklärt es, dass auch für den Gurtbogen besonders in der Spätzeit eine nach unten verjüngte Querschnittsform beliebt wurde, die oft der Rippe ganz entsprechend gestaltet ist. Wenn der Gurt seinem inneren Wesen gemäss anders als die Rippe gegliedert wird, so muss darauf Bedacht genommen werden, dass beim Zusammenwachsen der Glieder immer ein günstiger Zusammenschnitt entsteht, von dem man sich durch Austragen von Horizontalschnitten in verschiedenen Höhen des Anfanges überzeugen kann.

4. Übereinstimmung der Bogenhalbmesser und Aufstelzung. Ein schönes Auseinanderwachsen wird sehr erleichtert, wenn alle Bogen aus gleichem Halbmesser geschlagen sind, deren Mittelpunkte in derselben Grundrissebene liegen. Da aber Anforderungen an die Höhenentwickelung der Bogen einer Erfüllung dieser Gesetzmässigkeit oft entgegenstehen, so ist sie in vielen Fällen, besonders bei langgezogenen Jochen, nicht durchführbar, wenn nicht etwa das von der englischen Gotik eingeführte Hülfsmittel der aus mehreren Radien geschlagenen Bogenlinien gewählt werden soll (vgl. vorn Aufrissgestaltung der Bogen, Fig. 48).

Wo verschiedene Halbmesser vorliegen, lässt sich gewöhnlich die in Fig. 266 zur Darstellung gebrachte Unregelmässigkeit nicht umgehen. Wenn der Bogen I mit grösserem, der Bogen II mit kleinerem Halbmesser geschlagen ist, so wird II in einer bestimmten Höhe schon einen grösseren horizontalen Weg zurückgelegt haben als I, d. h. der Rücken von II ist bereits bis zum Punkte *b* vorgerückt, während sich der Rücken von I erst bei *a* befindet. Infolgedessen hat sich unter der Linie *a b* eine senkrechte Zwickelfläche gebildet, die über *a b* in die windschief gestaltete Kappenfläche übergeht, deren Form durch die eingezeichneten Fugen veranschaulicht wird.

Oft lässt sich ein Aufstelzen einzelner Bogen nicht umgehen, dasselbe führt gewöhnlich ebenfalls zu der windschiefen in Fig. 266 dargestellten Gestaltung des Kappenanfanges, meist in noch höherem Masse. Besonders häufig tritt eine Stelzung der Schildbogen bei langgestreckten rechteckigen Jochen ein. Die Stelzung reicht dann selbst zu einer Höhe hinauf, in der die übrigen Bogen sich schon weit voneinander getrennt haben, so dass nacheinander die Grundrisse Fig. 267 *a* bis *d* entstehen. Bezeichnend für diese Gewölbeentwicklung ist der schwache Zusammenhang zwischen dem Anfang und der Mauer, der sich in der ganzen Höhe der Stelzung auf dasselbe Mass *m n* beschränkt. Da aber gerade an dieser Stelle der Gewölbeschub in die Mauer zu übertragen ist, muss auf eine sehr feste Konstruktion aus grossen einbindenden Werkstücken bezw. harten Ziegeln in sehr gutem Mörtel Bedacht genommen werden. Ausserdem sollte an diesen Punkten das Zusammendrängen der Glieder nicht zu weit getrieben werden, besonders da, wo zwei ungleich breite Felder verschiedenen Schub von beiden Seiten ausüben. Ein Beispiel einer besonders starken Aufstelzung der Schildbogen liefert das Mittelschiff St. Paul zu Lüttich.

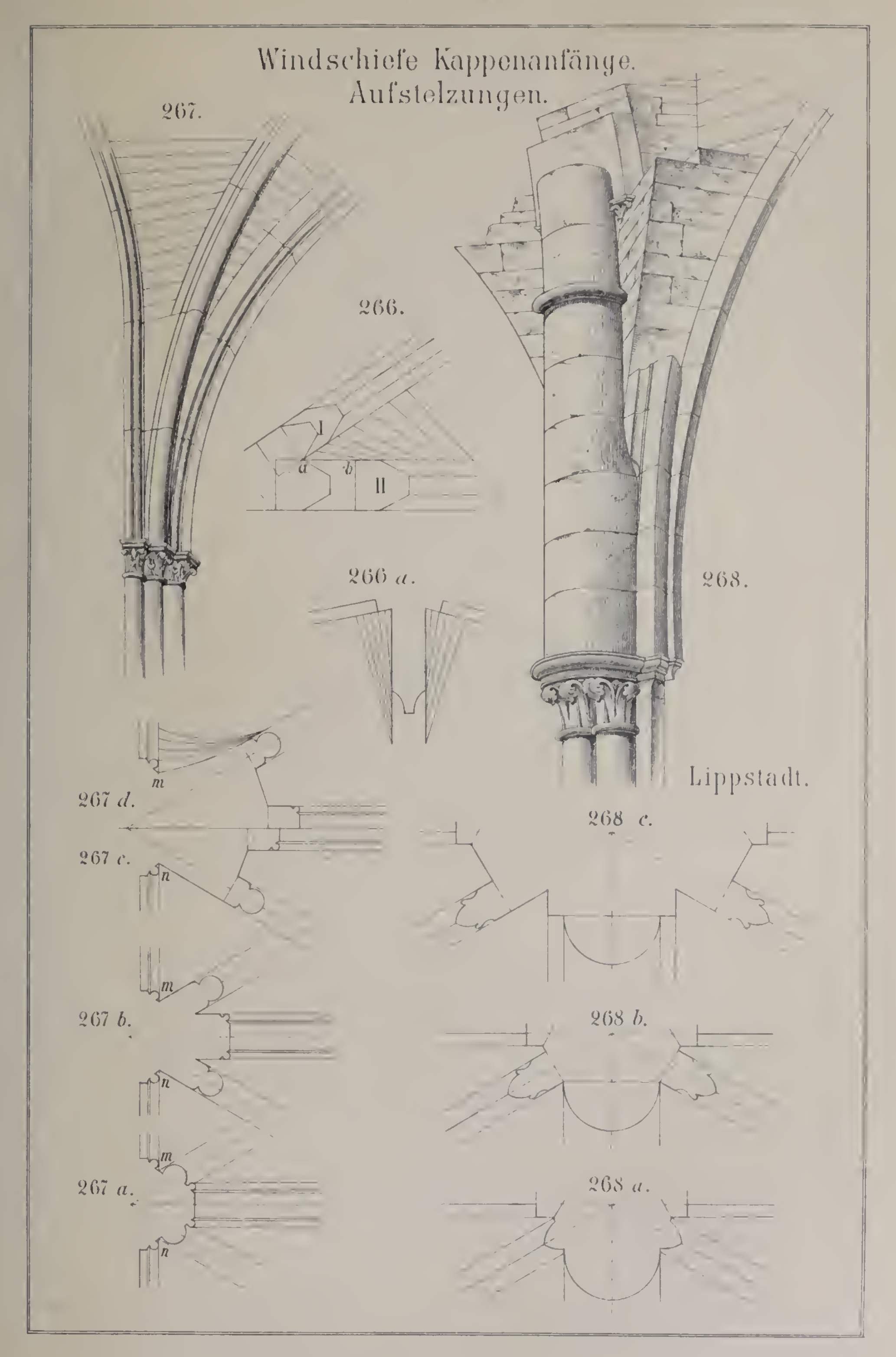
Bei schmalen Seitenschiffen tritt oft der umgekehrte Fall ein, es bilden sich langgestreckte Felder, deren lange Seite der Schildbogen, deren kurze Seite dagegen der Gurt ist. Es muss nunmehr der Gurtbogen aufgestelzt werden, wodurch sich eine breitgezogene Gestalt des Anfanges giebt, wie sie der in Fig. 268 gezeichnete Anfang aus der frühgotischen Stiftskirche St. Marien zu Lippstadt in ausgesprochener Weise zeigt. 268*a* ist der Grundriss über dem Kapitäle 268*b* über der Stelzung und 268*c* über der Loslösung des Gurtbogens.

Besonders auffallend wird die Erscheinung bei vielseitigen Kapellen oder Chorschlüssen. Der Längenunterschied von Rippe und Polygonseite ist im Grundrisse so gewaltig, das letztere meist mit einem sehr hochgestelzten Schildbogen überspannt wird. Da wo der gestelzte Bogen immer noch gerade aufsteigt, da hat sich die Rippe bereits sehr weit von der Mauer entfernt. Hinter der Rippe bildet sich eine senkrechte Wand von grosser Ausdehnung, die natürlich aus festem Steine in gutem Verbande mit Rippe und Mauer herzustellen ist. (Fig. 266 A.) Eine besonders hohe Stelzung zeigen die Schildbogen am gotischen Chore des Domes zu Aachen (um 1400).

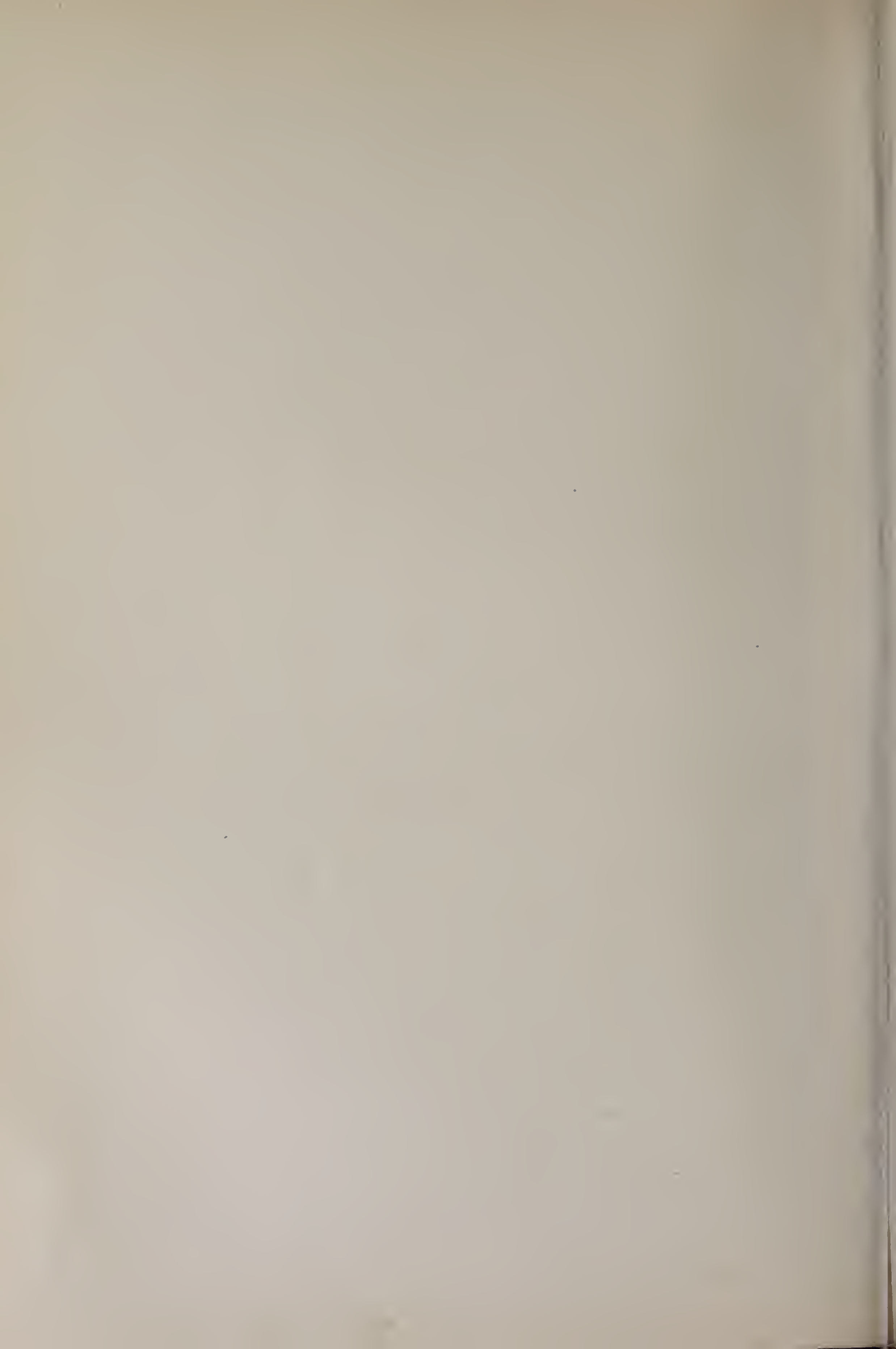
Das Austragen der Werkstücke.

Die praktische Ausführung dieser Rippenanfänge geschieht im Steinbau in der Weise, dass man sie aus einem oder aus mehreren aufeinander gelegten Werkstücken herstellt, deren Lagerfugen wagerecht sind. An der oberen Fläche der Anfänge können dann die einzelnen Rippen entweder wieder nach einer wagerechten oder nach einer radial gelegten Fläche abgeschnitten sein. Die radiale Lage ist neben andern Gründen dann vorzuziehen, wenn die wagerechte Fuge die verschiedenen Bogen unter schärferen Winkeln schneiden würde, als dies die Beschaffenheit des Steines gestattet. Es ist von der grössten Wichtigkeit, dass das Auftragen dieser Anfänge mit der äussersten Genauigkeit geschehe, damit die später darauf zu versetzenden Rippenstücke weder in der wagerechten noch in der lotrechten Ebene einen Knick gegen die dem Anfange angearbeiteten Glieder bilden.[1])

[1]) Bei zahlreichen alten Werken kann ein aufmerksames Auge einen Knick über dem Anfänger wahrnehmen, der teils auf ungenaue Ausführung, teils auch wohl auf spätere Verdrückungen zurückzuführen ist.



Windschiefe Kappenanfänge.
Aufstelzungen.
267.
266.
I
a
b
II
266 a.
268.
Lippstadt.
m
267 d.
267 c.
n
268 c.
m
267 b.
n
268 b.
m
267 a.
n
268 a.



Es sollen daher in dem Folgenden die Konstruktionen dieser Werkstücke für verschiedene Fälle gezeigt werden.

Austragen der Werkstücke. Erstes Beispiel.

1. Der Gewölbeanfang besteht aus einer Gurtrippe und zwei Diagonalrippen, die Jochweiten und die Radien der verschiedenen Bogen sind gleich, die Mittelpunkte liegen in derselben Grundebene. S. Fig. 269 und 269a.

Die Mittellinien der 3 Rippen schneiden sich im Punkte *b*. Die sich auf das Kapitäl bezw. den Kragstein setzende Unterfläche der stark zusammengeschobenen Glieder ist gezeichnet. Der Anfänger soll aus einem Werkstücke bestehen, das bis zur Trennung der Rippen hinaufreicht. Es handelt sich darum, die Höhe und die obere Fläche des Werksteines auszutragen.

Über der Mittellinie *A B* als Grundlinie wird die in den Grundriss niedergelegte Seitenansicht der Gurtrippe gezeichnet, deren innerer Bogen *a x* und deren Rücken *b y* ist. Der Punkt, an welchem sich die Rippen trennen, ist im Grundrisse *d*, in demselben wird ein Lot errichtet, bis es den Bogenrücken in *e* schneidet. Dieser Punkt *e* ist der Trennungspunkt der Rippen im Aufrisse. Eine Horizontale durch *e* giebt die Höhe des Werkstückes an, die damit schon gefunden ist.

Die obere Fuge kann eine durchweg wagerechte Fläche sein, *g e h*, oder sie kann vorn in der Tiefe der Rippen radial stehen, *e f*. Hier werde die Fuge noch als wagerecht zulässig angenommen. Es handelt sich nun darum die Aufrissfläche der oberen Fuge in den Grundriss zu projizieren. Es geschieht das einfach durch Herunterloten der das Profil bestimmenden Punkte m'' n'' usw. in den Grundriss, wo durch Seitwärtsziehen von den Punkten *m n* die gesuchten Punkte $m,'$ n', h' ermittelt werden. Zum genaueren Zeichnen des Profiles können in derselben Weise noch weitere Punkte bestimmt werden.

Der Fugenschnitt der Gurtrippe ergiebt sich somit als das langgezogene Profil $d\,h'\,n'\,m'$. Für die Kreuzrippen würde dasselbe Verfahren einzuschlagen sein, man hätte z. B. den Aufriss der unteren Kreuzrippe in gleicher Weise um die Linie *b r* niederzulegen usw. Es ist das in diesem Falle aber nicht nötig, da unter den vorliegenden Annahmen die Horizontalschnitte der beiden Rippen gerade so sind wie diejenigen des Gurtes, also einfach durch Übertragen zu finden sind.

Die obere Endfläche ist für die drei Bogen somit gefunden. Es zeigt sich aber, dass sich in dieser Höhe die Bogen schon ziemlich weit von der Wand entfernt haben, darum handelt es sich nun noch darum, wie die Lücke zwischen den Punkten *s* bezw. *t* und der Wand zu schliessen ist. Es hängt das von der Form des Schildbogens ab. Es ist bei diesem Beispiele kein vortretendes Schildbogenprofil, sondern nur eine Schildbogenlinie vorausgesetzt. Wenn die Schildbogenlinie mit ein und demselben Halbmesser geschlagen ist wie die drei Rippen, so wird, während die Rippenkante von *p* nach *s* vorgerückt ist, der Schildbogen um das gleiche Stück von *p* nach *w* gerückt sein. Es wäre demnach die Linie *s w* zu ziehen, welche in der Kappenfläche liegt. Das Kappengemäuer setzt sich später auf diese Linie. Der Zwickel der Kappe unterhalb *s w* wird gleich mit aus dem Werkstücke gearbeitet, er zieht sich bis zum Punkte *p* hinab.

Ist der Schildbogen mit grösserem Halbmesser geschlagen oder auch etwas aufgestelzt, so ist er in der Höhe des Werkstückes noch nicht so weit fortgerückt, er ist vielleicht erst von *u* bis *v* (untere Hälfte der Figur) gelangt. In diesem Falle würde die Linie *t v* den Werkstein begrenzen. Es kann aber auch der Schildbogen um die ganze Höhe des Anfängers aufgestelzt sein. Die Schildbogenlinie stiege dann im Punkte *u* in die Höhe, so dass *t u* die Umrisslinie des Werkstückes würde. Der Kappenanfang setzte sich dann in der in Fig. 267 gezeigten Weise unter *u t* senkrecht, über *u t* windschief an. Einen näheren Aufschluss über das Verhalten des Schildbogens erhält man dadurch, dass man ihn um die Linie *u p* in den Grundriss niederlegt.

Dem Werkstücke wird ein in die Mauer eingreifendes Ansatzstück angearbeitet, so breit wie es der verwendete Stein hergiebt.

Austragen der Werkstücke. Zweites Beispiel.

2. Der Gewölbeanfang besteht aus einer Gurtrippe, zwei Kreuzrippen und zwei Schildbogenrippen, und die Breiten der aneinander stossenden Joche sind so verschieden, dass die Trennungspunkte der Rippen in ver-

schiedenen Höhen liegen. Da ferner die Schlusssteine der beiden Gewölbejoche in der gleichen Höhe liegen, so muss der Radius der Rippen des schmalen Joches grösser sein. Die Scheitel der Schildbogen dagegen sollen etwas niedriger liegen als die der Diagonalbogen, so dass die des grösseren Joches mit dem Radius dieser letzteren aus einem in der gemeinschaftlichen Grundlinie gelegenen Punkte geschlagen sind. Die Schildbogen des kleineren Joches sollen dieselbe Höhe behaupten, mit ihrer eigenen Spannung als Radius geschlagen und um die Differenz der sich so ergebenden Pfeilhöhe und jener des grösseren Schildbogens aufgestelzt sein. Die Fig. 270 zeigt in dem schraffierten Teile den Grundriss des auf einem sechseckigen Kapitäle sitzenden Rippenanfanges.

Man zeichnet zunächst über der Mittellinie ab der kleinen Kreuzrippe als Grundlinie die in den Grundriss niedergeklappte Seitenansicht dieser Kreuzrippe durch Schlagen der Bogen ac usw. Im Grundriss löst sich der Rücken der Rippe im Punkte e von der benachbarten Gurtrippe los, man macht daher in e einen Lotriss zu ab, welcher im Aufrisse den Bogenrücken in f schneidet. gf bezeichnet demnach die grösste Höhe des Rippenanfanges. Jenachdem die obere Fuge wagerecht oder radial gerichtet ist, wird sie durch die Linie fh oder fu' bezeichnet. Durch Herunterprojizieren ergiebt sich für die wagerechte Fuge das Profil eki, für die radiale Fuge dagegen das Profil ekw als Grundrissprojektion.

Die Seitenansicht des Gurtbogens wird in derselben Weise über lm als Grundlinie niedergeklappt. Auf dem Rücken wird ein Punkt angenommen, der über der Grundlinie dieselbe Höhe hat, wie der Punkt f über der Grundlinie ab. Die radial gerichtete Fuge in dieser Höhe würde ebenso wie vorher in den Grundriss projiziert das Profil prx zeigen und die wagerechte obere Fuge würde gleichfalls in der vorigen Weise das längere Profil prq ergeben. Da in diesem Falle der Gurtbogen mit kleinerem Halbmesser geschlagen ist als die Rippe, ist in dieser Höhe sein Profil um das Stück re weiter vorgerückt als die Rippe; es ergiebt sich daher hier das oft auftretende bei Fig. 2[illegible]6 erläuterte senkrechte Zwickeldreieck mit windschiefem Kappenanfange darüber.

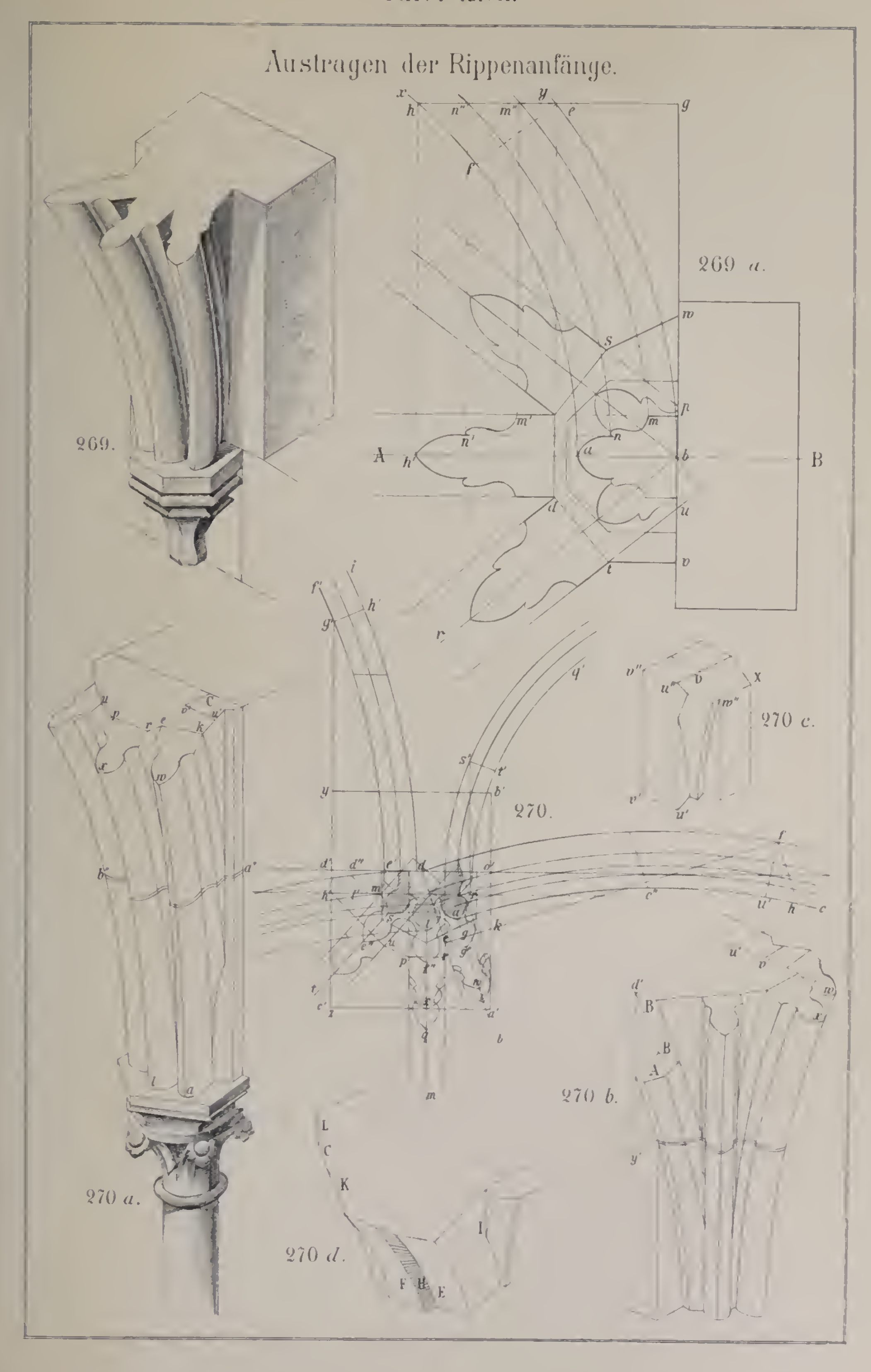
In derselben Weise wird auch für die andere Kreuzrippe st das Grundrissprofil in der gleichen Höhe fg gefunden, dessen Rücken in dem Punkte u sich befindet, so dass die Linie pu hier die Kappenfläche bildet.

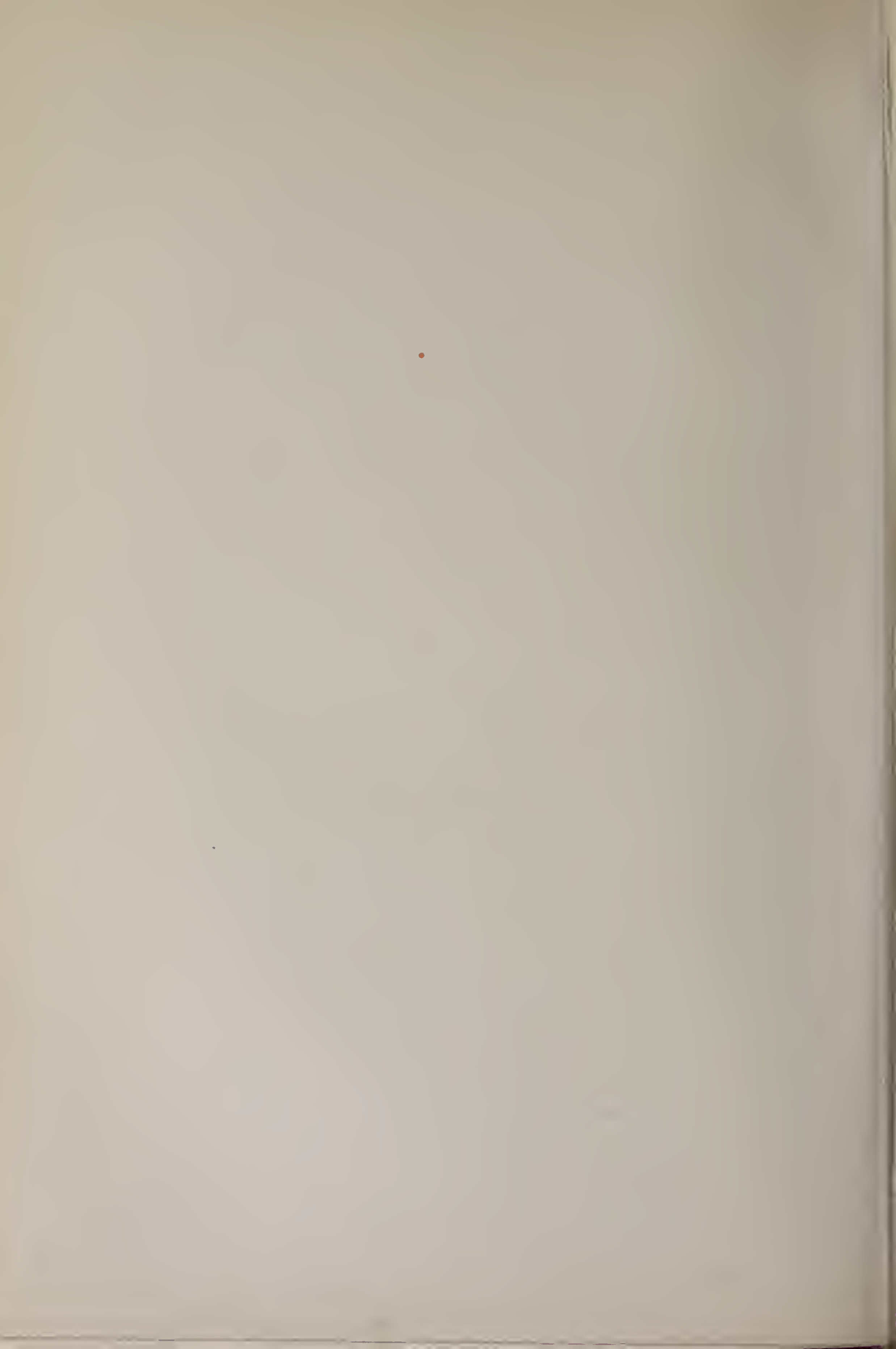
Wenn die Fugenfläche wie hier zur Vermeidung spitzer Winkel radial angenommen wird, so kann der Steinmetz das genaue Konstruieren der Grundrissprojektion ekw bezw. rpx umgehen. Er braucht nur die Rückkante ek und pr zu projizieren und auf die obere Fläche seines Werkstückes aufzutragen, von dieser Kante aus arbeitet er eine radial gerichtete Fläche an und zeichnet auf diese den wirklichen Rippenquerschnitt auf.

Sowie gleich zu Anfang durch die Länge fg die Höhe des Anfängers festgelegt ist, so sind jetzt seine Länge und Breite durch ein der oberen Aufsichtsfläche umschriebenes Rechteck $y z a' b'$ bestimmt. Der Eingriff des Werksteines in die Mauer wird natürlich durch ein entsprechendes Hinausschieben der Linie $y b'$ so gross angenommen, als es der Stein irgend erlaubt.

Wollte man auch den rasch sich entfernenden Schildbogen mit aus dem Werkstücke herausarbeiten bis zur ganzen Höhe, so würde dadurch die Steinbreite in unnötiger Weise vermehrt werden. Man schneidet daher, wie Fig. 270b zeigt, das Schildbogenprofil da, wo es die Grenze des Werkstückes erreicht, radial ab und legt darüber einen Ausschnitt an, in welchen sich der Rücken des ersten Schildbogenwölbsteines hineinlegt. Das Austragen ist auch hier wieder ähnlich. Man zeichnet die Schildbogenansicht über $d' e'$ als Grundlinie niedergelegt und errichtet gemäss der Breite des Werkstückes ein Lot, bis es die „untere" Laibung des Schildbogens in g' trifft. Von hier wird die radiale Fuge $g' h'$ gezogen, der Rückenabschnitt verläuft in der Bogenlinie $h' i$ bis zur Höhe des Werkstückes.

Der Schildbogen des kleinen Joches ist um die Höhe des Anfanges aufgestelzt, zeigt daher in der oberen Lagerfuge des Rippenanfanges noch denselben Grundriss, wie in der unteren, so dass auch die Kappenfläche hier noch durch Fortsetzung der radialen Seitenfläche des Profiles der Kreuz-


Austragen der Rippenanfänge.
269.
269 a.
270.
270 a.
270 b.
270 c.
270 d.



bogens *a b* gebildet wird. Die Fig. 270a zeigt die Ansicht des Rippenanfanges von dem kleineren Joche aus. In beiden Ansichten (270a und 270b) sind die dem Grundrisse entsprechenden Punkte mit den gleichnamigen Buchstaben bezeichnet. Der Schildbogen des kleineren Joches bleibt, wie die Figuren zeigen, völlig mit dem Rippenanfange verwachsen und trennt sich erst oberhalb des oberen Bogens von demselben, so dass sich auf die Fläche *C* in Fig. 270a das in Fig. 270c dargestellte Werkstück setzt und auf die radiale Fläche *D* dieses letzteren die folgenden Stücke des Schildbogens, gerade wie sich die der übrigen Rippen auf die radialen Flächen *pxr* und *ewk* in Fig. 270a aufsetzen.

Die Konstruktion des in Fig. 270c gezeichneten Werkstückes ist die folgende. Man zeichnet über die Linie *o' d'* als Grundlinie die Ansicht des „über" der Aufstelzung beginnenden Schildbogens. In dem Grundrisspunkte *r*, in welchem der Schildbogen aus der Kappenfläche hervorwächst, wird ein Lot errichtet, bis es den Rücken in *s'* schneidet, es ist dann *o' s'* die Höhe des Werkstückes und *s' t'* die radiale Fuge. In der Perspektive 270c zeigt sich diese Fuge als Fläche *u'' D w''*. Das Werkstück muss nach beiden Seiten einbinden und bekommt daher entsprechende Zusätze, zunächst ein Stück *u'' v''* mindestens gleich der Kappenstärke, um welches das Werkstück in den Kern fasst, sodann das Stück *w'' x*, um welches es in die Mauer ragt, und welches natürlich die Länge hat, um welche überhaupt der Schildbogen in die Mauer einbindet.

Dieses kleine Werkstück setzt sich auf den Gewölbeanfänger, während an den übrigen Stellen direkt die Rippen hochgewölbt werden. Den Zwischenraum zwischen den Rippen und jenem Werkstücke füllt das Kappengemäuer nebst seiner bis $^1/_3$ oder $^1/_2$ der Wölbhöhe reichenden Hintermauerung. Wo die Mehrkosten nicht gescheut werden, da ist es besonders bei weit gespannten Gewölben vorteilhaft, das untere Kappenstück noch als einen Werkstein hinter die Rippenrücken zu stellen, er vereinigt sich in diesem Falle mit dem kleinen Werksteine 270c zu einem grossen in Fig. 270d dargestellten Steine. Die drei Bogenflächen *E F C* setzen sich hinter die Rippenrücken, während die Flächen *H I K L* Kappenstücke sind. Die Fläche *H* zeigt durch die Schraffierung die windschiefe Gestalt des Kappenanfanges.

Sollte die Höhe des Gewölbeanfanges sehr bedeutend werden, so wird er durch horizontale Fugen in mehrere Schichten zerlegt, im vorliegenden Beispiele in zwei, wie es die Figuren 270a und 270b veranschaulichen. Die Gestalt der Fugenflächen lässt sich nach obigem leicht austragen, sie wird bei der Ausführung auf die entsprechenden Lagerflächen der Werkstücke aufgerissen, die dann nach Massgabe der Bogenkrümmungen bearbeitet werden. Somit ist die Konstruktion des Rippenanfanges beendet.

Beschränkung der Grundfläche.

Die Fig. 270 hat gezeigt, dass die Verbindung des Schildbogens mit dem Körper des Rippenanfanges in einem Werkstücke unter Umständen gewisse Schwierigkeiten nach sich zieht, denen in verschiedener Weise ausgewichen werden kann. Zunächst durch eine Trennung des Schildbogens von den übrigen Rippen.

Getrennter Anfang für den Schildbogen.

Diese Trennung ergiebt sich von selbst, sobald für jede Rippe ein besonderer Dienst angeordnet ist. Fig. 271 zeigt den Grundriss einer derartigen Anordnung aus dem Chore der Kirche zu Wetter. Die Dienste stehen hier soweit auseinander, dass die Gurtrippe mit den Kreuzrippen nur noch in der geraden Seitenfläche ihres Profiles verwächst, dagegen die Schildbogen völlig frei liegen. Abgesehen aber von der erleichterten Ausführung wird auch das Wesen der Sache hierdurch vollkommener bezeichnet; denn die Funktion des Rippenanfanges liegt eben nur darin, die auseinander laufenden Rippen an ihrem Ursprunge unter sich und mit der Mauer zu verbinden. Der Schildbogen aber bewegt zich an der Mauer hin, ist derselben ohnedies eingebunden, bedarf daher keines weiteren Verbandes damit. So treffen in allen Fällen richtige Auffassung und erleichterte Ausführung

zusammen und es ist Ursache vorhanden, gegen jede Auffassung, gegen jede Anordnung misstrauisch zu sein, deren Ausführung nur durch übermässig schwierige, vor allem durch versteckte Mittel möglich ist. Im vorliegenden Falle sind die Dienste durch Hohlkehlen verbunden und tragen Kapitäle von sechseckiger nach der Richtung der Rippen gestellter Grundform. Über diese Kapitäle hinaus setzt sich aber der Schildbogendienst *a* in Fig. 271a noch fort bis in die höher liegenden Grundlinien des Schildbogens und schliesst hier mit einem runden Kapitäle. Es wird also hierdurch zugleich das Aufstelzen des Bogens vermieden. Auf den sechseckigen Dienstkapitälen *b* und *c* in Fig. 271 sitzen dann die Gurt- und Kreuzrippen auf, deren Hohlkehlen aneinanderstossen und so die Regelmässigkeit noch deutlicher hervortreten lassen. Auf das Dienstkapitäl *a* aber setzt sich der Schildbogen, dessen Profil dem Grundrisse des Dienstes entspricht; deshalb ist das Kapitäl auch rund geblieben und dient bloss dazu, den Bogenanfang zu bezeichnen.

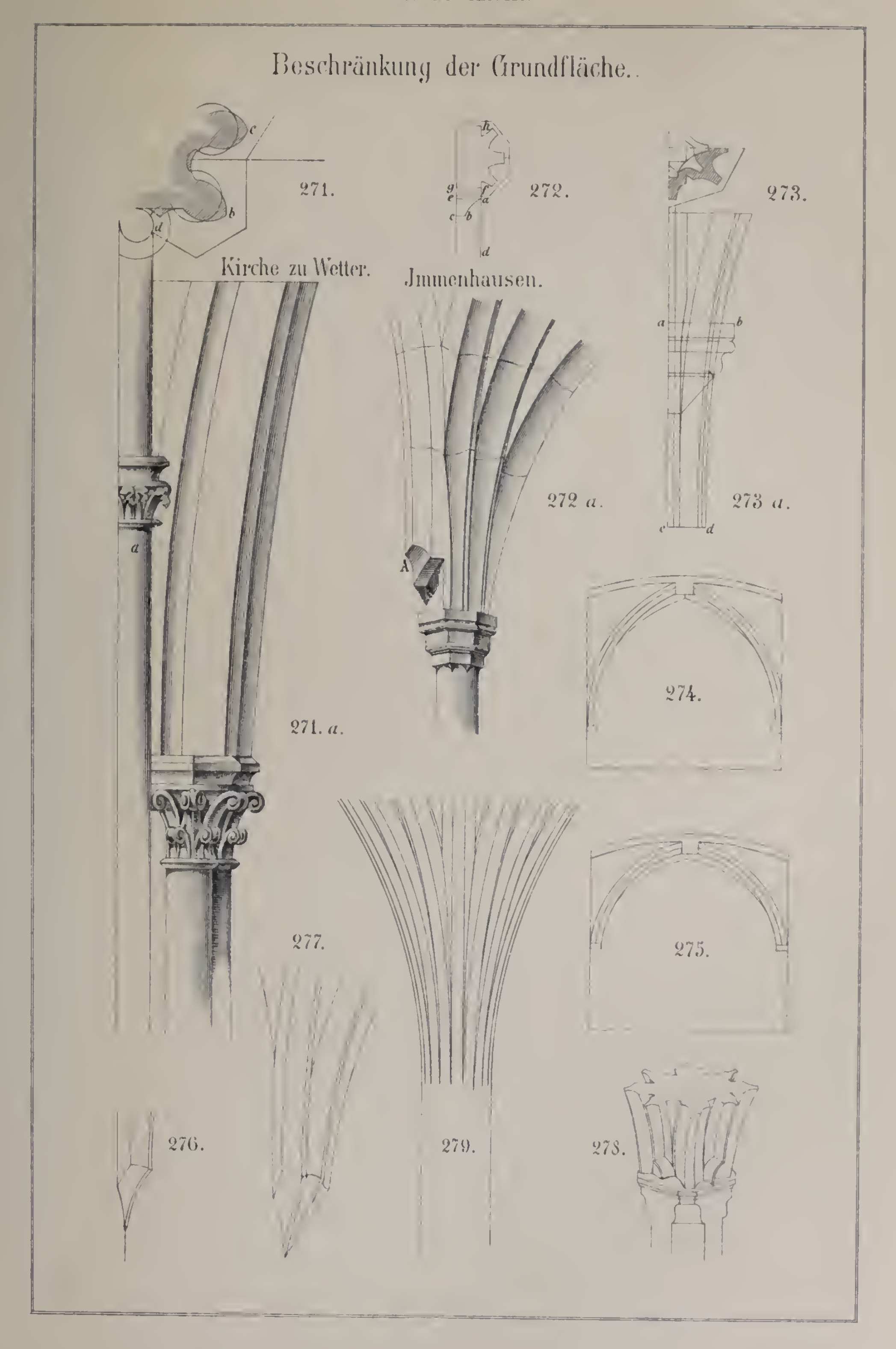
In einfacher durchgeführten Werken mit einem einzigen Wanddienste findet sich zuweilen die Trennung des Schildbogens von den übrigen Rippen durch sehr sinnreiche Anordnungen bewirkt. Eine solche zeigen die Rippen-Anfänge des aus dem Anfange des 15. Jahrhunderts stammenden Chores der Kirche zu Immenhausen, s. Fig. 272 und 272a, wo die gestelzten Schildbogenrippen sich unten zurücksetzen und so den aus einer Gurtrippe und zwei Kreuzrippen bestehenden Anfang frei lassen. Nachdem also der Schildbogen sich in solcher Weise abgesetzt hat, bleibt noch der rechtwinkelige Körper *fgh* übrig, vor welchen sich die Anfänge der übrigen Rippen setzen und der mit denselben auf dem achteckigen Dienstkapitäle steht. In ähnlicher Weise sind die Schildbogen in der Marienkirche zu Heiligenstadt unten konsolartig abgeschlossen. Solche einfachen Mittel tragen viel zu dem hohen Reize der einfachsten alten Werke, selbst der Spätzeit, bei und unterscheiden dieselben durch ihre Frische und ihre sinnreiche Erfindung sehr vorteilhaft von den meisten neueren.

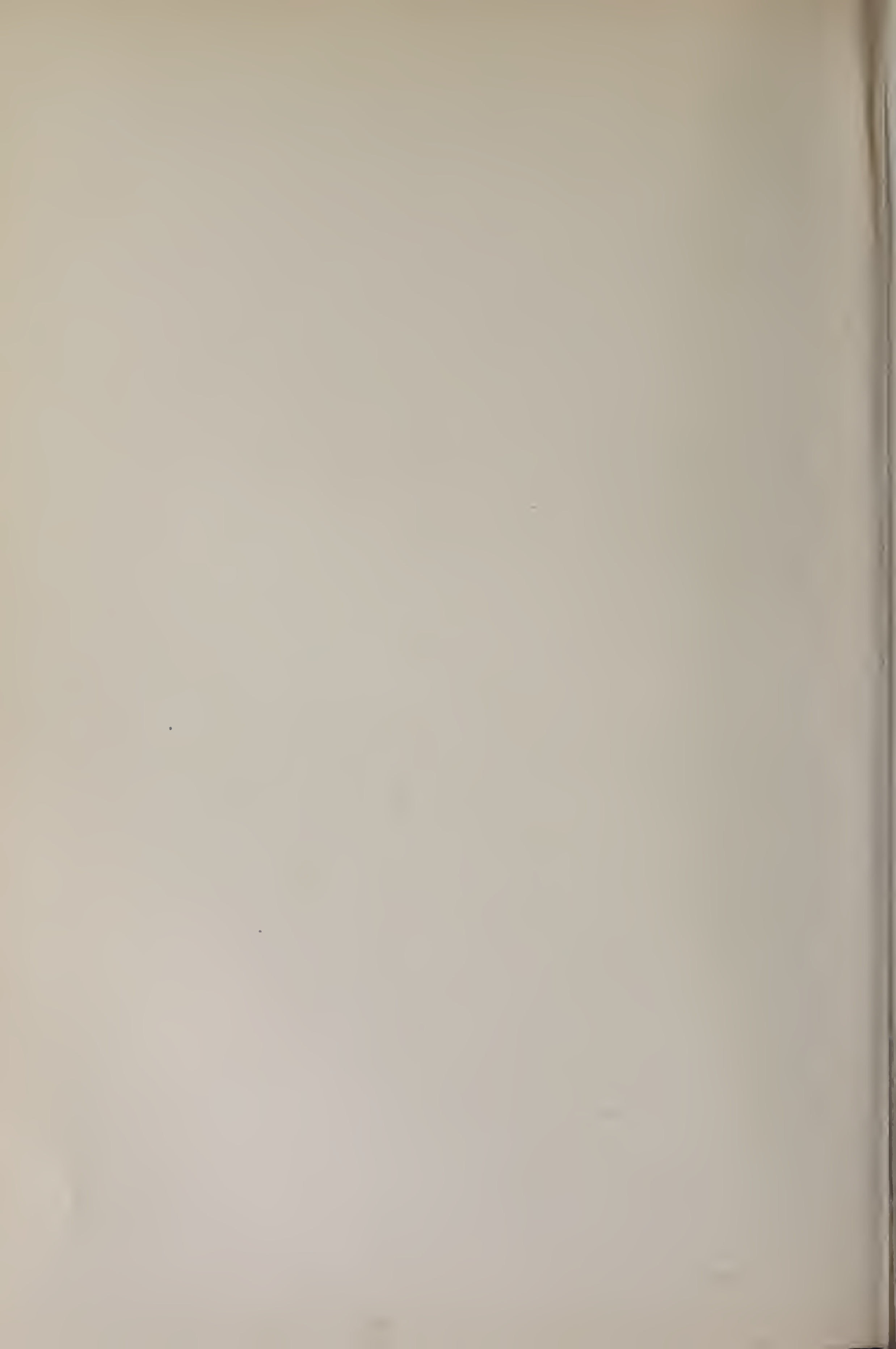
Verkürzte Anfänge. — Auskragungen.

Streng genommen bilden alle solche zusammengedrängten Rippenanfänge, soweit sie von wagerechten Fugen geschnitten werden, doch nur Auskragungen der Fläche, auf welcher die Rippen sich aufsetzen, und würden sich daher durch wirkliche Kragsteine ersetzen lassen oder selbst deren Aufgabe übernehmen können. Aus statischen Gründen erfordern stark zusammengedrängte Anfänge keine Unterstützung, da sich der Wölbschub bereits weiter oben auf die Mauer überträgt.

Fig. 273 zeigt den Grundriss und Fig. 273a den Aufriss eines seiner Höhe nach aus zwei Werkstücken bestehenden Rippenanfanges, der schraffierte Teil des Grundrisses giebt den Horizontalschnitt in der Höhe der Fuge *a b*. Statt des unteren Werkstückes *a b c d* könnte daher der in der Figur angegebene Kragstein das obere Werkstück tragen und hierdurch die Grundlinie des Gewölbes um die Strecke *a c* in die Höhe gerückt werden, was besonders in niedrigen Räumen von Vorteil sein wird.

Es wird aber durch diese Anordnung die ursprüngliche Linie des reinen Halbkreises oder Spitzbogens in ein Segment dieser Bogenformen verwandelt und so die wohlthuende Wirkung des Überganges aus der lotrechten in die gebogene Richtung gestört. Andererseits ist der durch eine vollkommene Entwickelung der Bogenlinien entstehende Höhenverlust nur dann ein Nachteil, wenn er etwa die


Beschränkung der Grundfläche.
271.
272.
273.
Kirche zu Wetter.
Immenhausen.
272 a.
273 a.
274.
271. a.
277.
275.
276.
279.
278.



Aufstellung irgend eines Möbels an der betreffenden Wandfläche verhindert. Wo hierauf keine Rücksicht zu nehmen ist, da kann unbeschadet der Wirkung des Ganzen der Rippenanfang nahe über dem Fussboden sitzen. So finden sich dieselben in der aus dem XV. Jahrhundert stammenden Sakristei der Kirche zu Wetter nur zwei Fuss über dem Boden. Die weite Spannung der Bogen bewirkt aber, dass sie bis auf Manneshöhe noch wenig über die Wandflucht ausladen und daher die Wohnlichkeit des Raumes nicht verkümmern. Die Fig. 274 und 275 zeigen den Gegensatz der beiden Anordnungen.

Bei kleiner Unterfläche würde ein Kragstein in konstruktiver Hinsicht nicht mehr nötig sein. Der einfache horizontale Abschluss befriedigt aber nicht, da er das Übertragen der Kraft auf die Mauer nicht kennzeichnet, er wird besser durch die in den Fig. 276 und 277 gezeigte Anordnung ersetzt. Dieselbe empfiehlt sich wegen ihrer einfachen und wohlfeilen Ausführung, und findet sich häufig in alten Werken, vorzüglich in untergeordneten Räumen. Sie kann aber auch mit Vorteil für eine einzelne Rippe eines Rippenanfanges angewandt werden, wenn nämlich der beschränkte Grundriss des Kapitäles für die fragliche Rippe kein Auflager bietet, so dass dieselbe mit den übrigen vollständig hätte verwachsen und auf eine ansehnliche Höhe damit zusammenhängen müssen. Diese Höhe wird durch eine Anordnung, wie sie z. B. Fig. 278 zeigt, wesentlich verringert. An einigen Pfeilern der Elisabethkirche zu Marburg findet sich etwas Ähnliches insofern, als die äussersten Stäbe ber Rippen, anstatt auf dem Kapitäle aufzusetzen, sich auskragen.

War man darauf bedacht, durch derartige Mittel ein zu starkes Zusammendrängen der Glieder zu umgehen, so hat man sich in anderen Fällen auch nicht gescheut, die Profile in der Höhe des Widerlagers so weit ineinanderzuschieben, dass nur die unteren Plättchen der Profile frei bleiben. Bei den Gewölben im Kreuzgange zu Aachen bildet sich aus diesen Plättchen unmittelbar der kapitällose halbrunde Wandpfeiler. Fig. 279.

Anfang aus einem Punkte.

Bei den Rippenanfängen aus einer Mauerflucht oder einer Ecke können in umgekehrter Weise die Rippengrundrisse in der unteren Lagerfläche so weit zusammengedrängt sein, dass sich ihre Mittellinien aus ein und demselben in der Wandfläche liegenden Punkte heraussetzen, so dass also die aus der Wandfläche herauswachsenden Rippen nunmehr sich aus einer durch ihr Zusammentreffen gebildeten Spitze ausbreiten, wie Fig. 280 im Aufrisse und 280a im grösseren Massstabe im Grundrisse zeigen. In letzterer Figur sind die Grundrisse der einzelnen Rippen hinter der Mauerflucht in der Lage angegeben, welche sie bei freier Entfaltung am gemeinschaftlichen Punkte *a* haben würden. Es braucht kaum bemerkt zu werden, dass diese Grundrisse nicht wirklich vorhanden sind, sondern sich erst in dem Masse, als die Rippen sich voneinander trennen, entwickeln, wie dies die Horizontalprofile der verschiedenen Höhen *d* und *e* in Fig. 280 anzeigen. Die Konstruktion des Aufrisses aus dem Grundrisse ist dieselbe wie die, welche bei der Fig. 281 gezeigt werden wird. Die ganze Gestaltung bildet gewissermassen die übertriebene Konsequenz des Prinzipes aller zusammengedrängten Rippenanfänge. Ihre Erscheinung aber ist im Vergleiche zu der eines auf einem Kragsteine oder Kapitäle sitzenden, in

angemessenem Verhältnisse zu der Grösse des Raumes stehenden Rippenanfanges trocken und gequält, weil sie eben dem Anfang jedes Körperliche nimmt.

Es verdient deshalb eine andere, gleichfalls der Spätgotik angehörige Anlage noch den Vorzug, nach welcher jede der drei Rippen für sich aus der Wand wächst, so dass die Punkte, in welchen sie hervorkommen, nebeneinander liegen, wie Fig. 281 im Grundrisse und Fig. 281a im Aufrisse zeigt.

Die Konstruktion ist die folgende: Alle Rippen haben gleiche Radien und Grundlinien. Man schlage nun zuerst über *a b* als Grundlinie die durch die verschiedenen Eckpunkte der Gurtrippe beschriebenen Bogen *a c* usw. und ziehe die Projektionslinien dieser Ecken, also *d e*, *f g*, so wird eine jede dieser Ecken im Aufrisse sichtbar, wo ihr Bogen die Wandflucht *a k* schneidet, also z. B. die Ecke *d* in der Höhe *a i*, die Ecke *f* in der Höhe *a k* usw., wonach die Umrisslinie *a d f l* in Fig. 281a, mit welcher die Gurtrippe sich aus der Wandflucht schneidet, schon bestimmt ist. Um nun dieselbe Linie für die Kreuzrippen zu finden, schlage man die verschiedenen Bogen derselben über der Linie *m n* als Grundlinie, ziehe zugleich die Projektionslinien der zugehörigen Ecken und mache in den Punkten, in denen die letzteren die Wandflucht schneiden, Lotrisse auf *m n* bis an die zugehörigen Bogen, so ergiebt z. B. die Länge *p r* die Höhe, in welcher der Punkt *u* aus der Wandflucht kommt, die Länge *s t* die Höhe, in welcher der Punkt *v* daraus hervorkommt, usf.

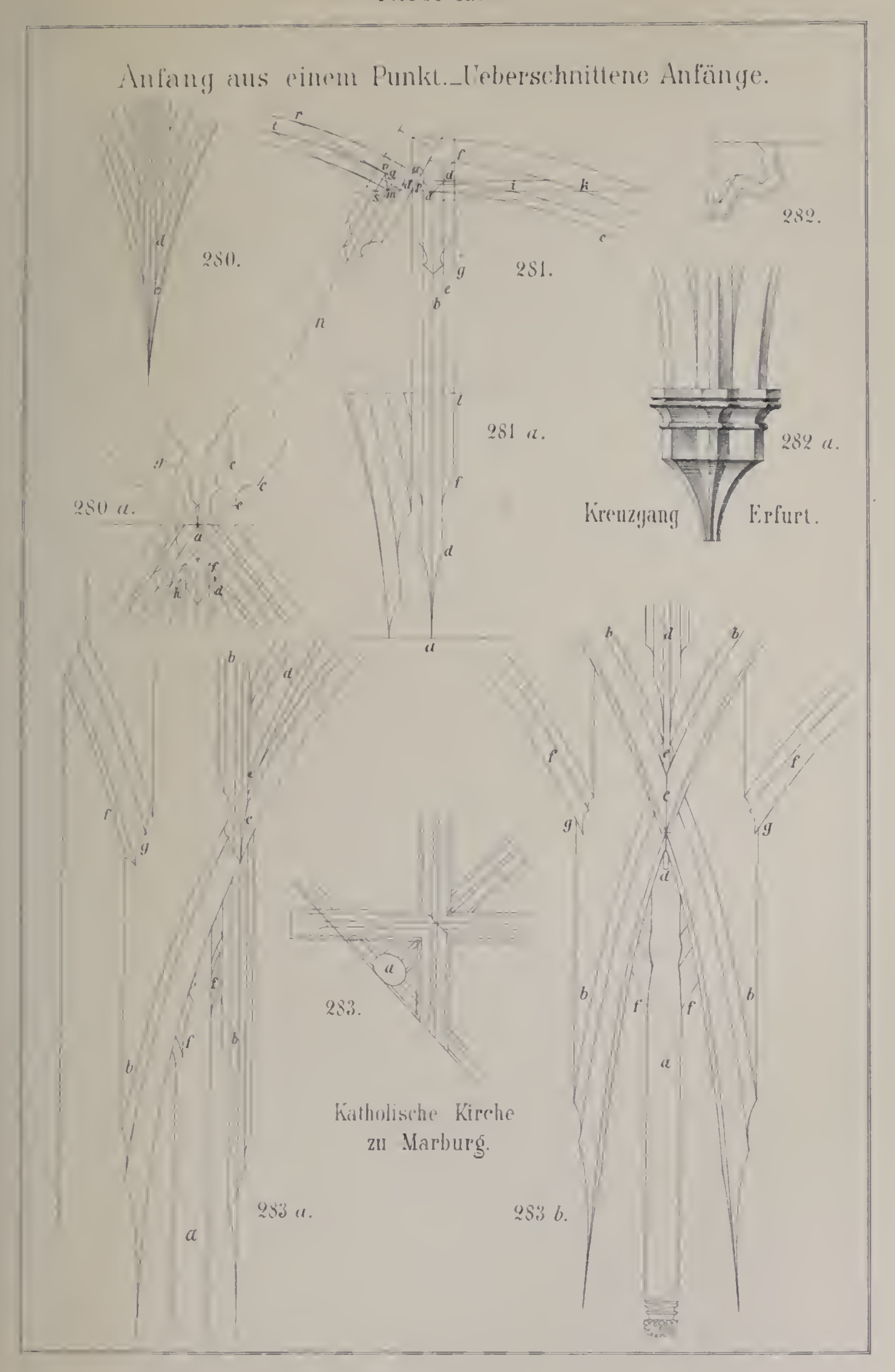
Verbinden wir nun die letztere Anlage der einzeln aus der Wandflucht herauskommenden Rippen mit der der Kragsteine, so ergiebt sich, wie in den Figuren 282 und 282a aus dem südlichen Flügel des Kreuzganges am Erfurter Dom, für jede Rippe ein besonderer, in der Richtung der Rippe gestellter Kragstein. Es wird hierdurch ein breiterer Rippenanfang bei geringer Höhe ermöglicht. Freilich lässt sich auch ein derartiger mehr in die Breite gezogener Rippenanfang auf einem gemeinschaftlichen Kragsteine aufsetzen, wie das z. B. in dem südlichen Seitenschiffe von St. Blasien in Mühlhausen geschehen ist, doch lässt sich gerade an dem angeführten Orte nicht verkennen, dass die platte Form dieser Kragsteine von keiner vorteilhaften Wirkung ist und gegen die der Erfurter zurücksteht.

Uberhaupt verlangt ein einheitlicher Kragstein einen lebhaften Vorsprung von mindestens der Hälfte der Grundform, nach welcher er gebildet ist, besser aber von fünf Seiten des Achteckes, vier oder fünf des Sechseckes, zwei des Dreieckes usw.

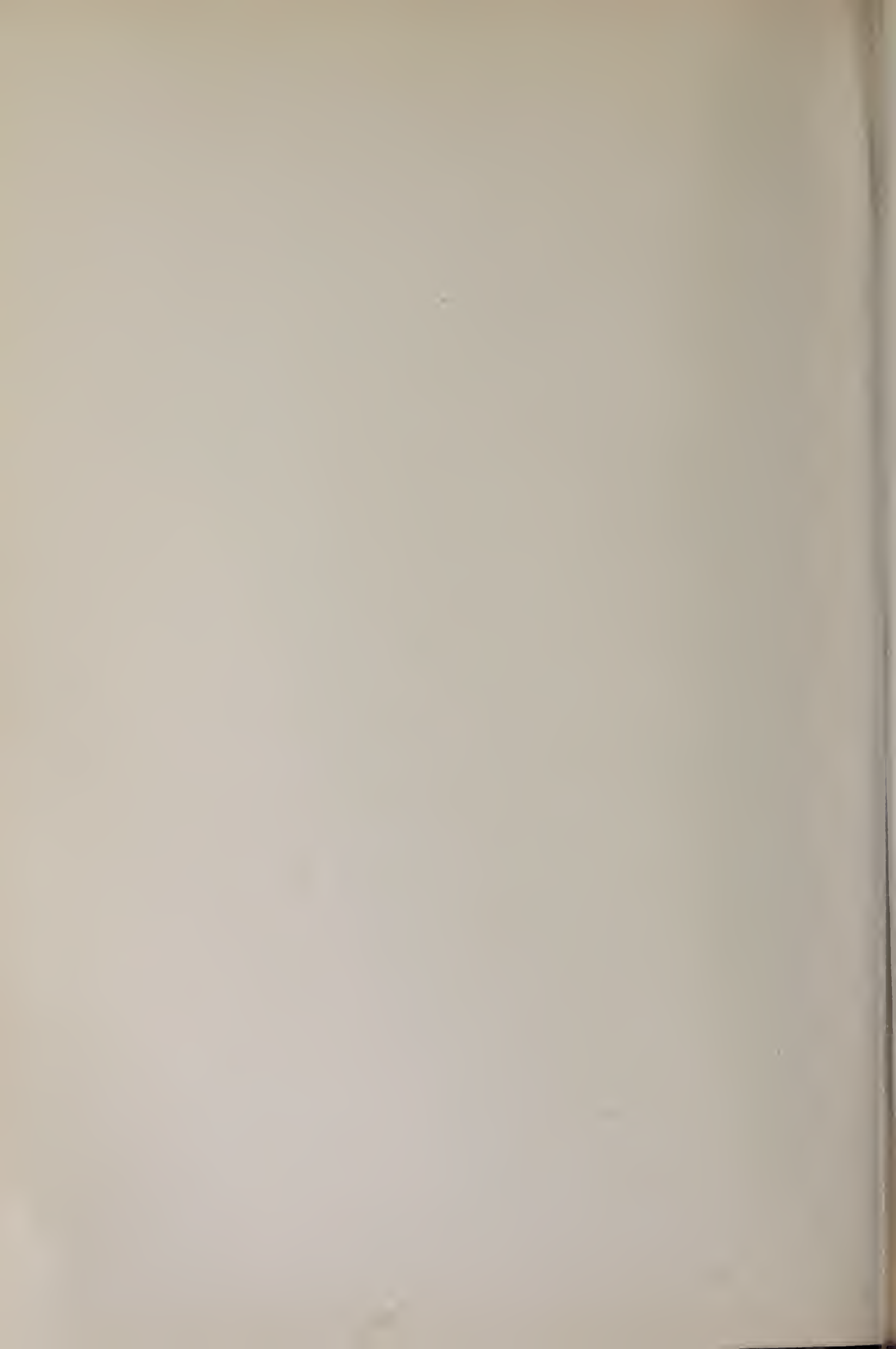
Uberschneidung der Anfänge.

Wir haben soeben das unter Fig. 280 gezeigte Herauswachsen der Rippen aus einer Spitze als gequält bezeichnet, dennoch suchte man in manchen Werken der Spätgotik noch darüber hinauszugehen und das zwar im wörtlichen Sinne genommen. Man schob nämlich bei unverrückter Lage der Gurtrippe den Anfang der Kreuzrippe eines jeden Joches über den der Gurtrippe hinaus in das angrenzende Joch, also den Anfang der rechtsseitigen Kreuzrippe nach links und umgekehrt den der linksseitigen Kreuzrippe nach rechts, so dass diese Kreuzrippen sich mit der Gurtrippe nahe bei ihrem Entstehungspunkte kreuzen. Sehr schöne Rippenanfänge dieser Art finden sich in der jetzigen katholischen Kirche in Marburg, sowie an einem Seitenraume der Marienkirche daselbst. Die ersteren sind in Fig. 283 im Grundrisse, in Fig. 283b im Aufrisse von vorn und in Fig. 283a im Aufrisse übereck dargestellt. Es sind darin *a* der ausgekragte Dienst, *b b* die Kreuzrippen, die sich bei *c* kreuzen, *d* die Gurtrippe, die bei *e* die Kreuzung der ersteren durchdringt, *f* die Schildbogenrippen, welche sich mit den auf den Kreuzrippen stehenden Wänden bei *g* durchdringen. Hier ist freilich von einer schlichten Darlegung des struktiven Prinipes kaum mehr die Rede, es ist eben der Triumph des sich

Tafel XXIX.



Anfang aus einem Punkt._Ueberschnittene Anfänge.
280.
281.
282.
281 a.
282 a.
280 a.
Kreuzgang Erfurt.
283.
Katholische Kirche zu Marburg.
283 a.
283 b.



seiner Sicherheit bewussten Handwerkes. Trotzdem können wir nicht umhin, die Präzision zu bewundern, mit welcher diese späteren Bildungen ausgeführt sind. Es bewirkt dieselbe, dass man beim Anschauen über der künstlerischen Vollendung des Handwerkes den handwerklichen Standpunkt der Kunst vergisst. Und keineswegs dürften viele heutige Künstler sich mit Recht dem Standpunkte jener Werkleute überlegen dünken, deren Arbeiten eine so überaus kluge Berechnung der Lichtwirkung, der Linienführung zeigen, dass sie vor manchen, von reiner Kunst durchdrungenen der Neuzeit noch den Vorzug haben, das Auge wirklich zu erfreuen. Wer möchte sie endlich vermissen, diese Werke der Spätgotik?

Rippenanfänge über freistehenden Pfeilern.

In derselben Weise wie die Rippenanfänge an den Wandflächen gestalten sich diejenigen auf freistehenden Pfeilern, nur dass die Verbindung des Werkstückes mit der Mauer wegfällt. Einen völlig regelmässigen, aus vier Gurtrippen und vier Kreuzrippen bestehenden Rippenanfang zeigt die Fig. 284. Bei grösseren Dimensionen würde derselbe anstatt aus einem aus mehreren aufeinander gelegten Werkstücken bestehen. Die oben gestellten Anforderungen an ein regelmässiges Auseinanderwachsen der Glieder haben ebenso wie die Regeln für das Austragen der Werkstücke auch hier ihre Gültigkeit.

Wenn bei geringer Ausdehnung der Kapitälplatte ein zu grosses Zusammendrängen der Glieder vermieden werden soll, so können nach Art der bereits erwähnten Fig. 278 Überkragungen angeordnet werden.

Verwachsen der Bogen über freien Pfeilern.

In den meisten Fällen jedoch hat man das Verwachsen der einzelnen Bogen nicht gescheut. Ein schönes frühgotisches Beispiel dieser Art aus dem Eingange des XIII. Jahrhunderts bietet der Rippenanfang über den Seitenschiffsäulen am Chore der Cisterzienserkirche zu Walkenried, dessen unteres Werkstück in Fig. 285 und 285a dargestellt ist. Trotz der Verschiedenheit von Gurt- und Rippenquerschnitt, die bereits in Fig. 195 und 196 mitgeteilt sind, ist ein wohlthuendes Zusammenwachsen der Glieder erzielt. Besonders geschickt schneidet sich der Diamantschnitt der Rippen an, dessen Seitenflächen *a a* unten in die volle Fläche *b* übergehen.

Grössere Schwierigkeiten entstehen bei den Schiffspfeilern der Basiliken, wie Fig. 286 aus Notredame in Dijon zeigt. Hier schneidet sich, wie Fig. 286a zeigt, der obere Teil des Scheidebogens (der dem Grundrisse bei *a b c* eingezeichnet ist), aus der lotrechten Seitenfläche der Kreuzrippe heraus. Die Linie, in welcher der Zusammenschnitt erfolgt, wird wie bei Fig. 281 in nachstehender Weise ermittelt.

Man zeichnet in der Nebenfigur 286b die Seitenansicht des Scheidebogenteiles *a c b* und trägt für jeden Grundrisspunkt z. B. *g* den schräg gemessenen Abstand *g h* als *g' h'* in die Nebenfigur. Das Lot in *h'* giebt den Punkt *i'*, in welchem der Eckpunkt *g* aus der Seitenfläche der Rippen herauskommt. Aus der Nebenfigur lässt sich der Schnitt *i'* leicht in die anderen Ansichten übertragen. Ebenso werden noch weitere Schnittpunkte ermittelt. Die obere Lagerfläche des Bogenanfanges ist im Grundrisse als die Umrisslinie *i k l m n o* eingezeichnet.

Bei späteren Werken wird das Zusammendrängen der Glieder meist noch weiter getrieben. Da wo es darauf ankommt, den Pfeilern und mithin den Rippenanfängen das geringste Stärkemass zu geben, entsteht am Anfänger durch das wechselnde Rückspringen der Profile ein merklicher Stärkeverlust. Es lässt sich

Verstärkung der Anfänge durch Herabziehen der Kappen.

derselbe vermeiden durch ein Ausfüllen der Zwischenräume, das sich am einfachsten durch ein Herabführen der Kappenflächen erzielen lässt. Siehe Fig. 287 und 287a. Diese Kappenstücke müssen in ihrem unteren Teile aber steiler gerichtet sein, so dass sie in der Höhe *m*, in welcher die Bogenprofile frei werden, einen Knick bekommen. Oberhalb dieser Stelle legen sich die Kappen wie immer konzentrisch auf den Rücken der Bogen. Die in der Figur wiedergegebene Anordnung findet sich an den Gewölben mehrerer Räume vom Kloster Haina, etwa aus dem Ende des XIII. Jahrhunderts. Nur die Gurtbogen dieser Gewölbe sind profilierte Rippen, während die Diagonalbogen sich als blosse Grate aussprechen.

Der Knick in der Kappenfläche und hier auch in dem Diagonalgrate würde in der Höhe *m m* in Fig. 287a liegen. Indes könnte der Diagonalbogen immerhin nach einer reinen Bogenlinie gebildet sein und nur die Anschlusslinie der Kappe an die Seite des Gurtes jenen Knick bilden. Es würde dann eine windschiefe Fläche den Übergang vermitteln. Fig. 287b.

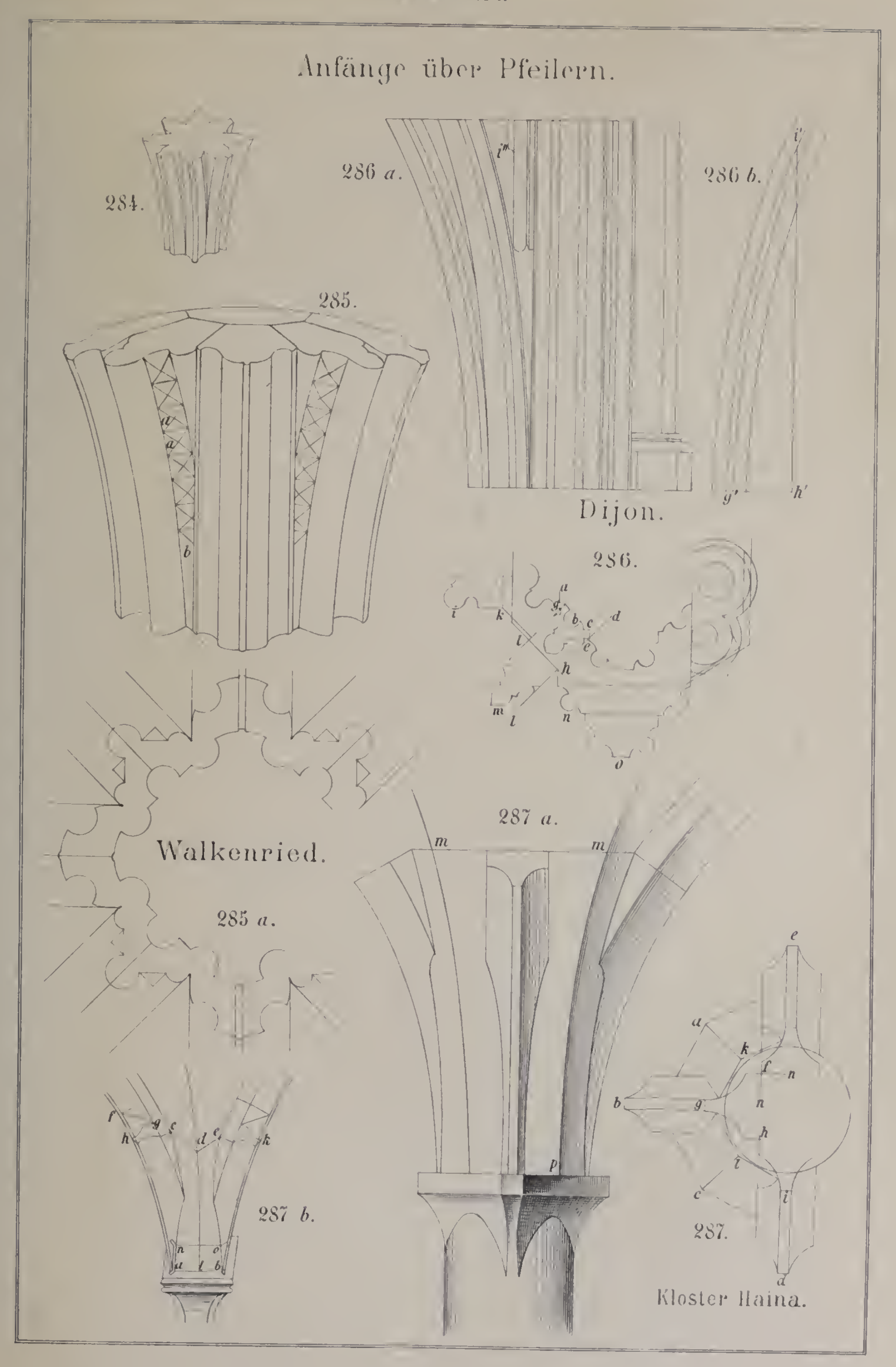
Die Masse, welche durch das Herunterführen der Kappe für den Anfänger gewonnen wird, lässt der Grundriss 287 erkennen. Die dem Kapitäle aufliegende Fläche wird durch den Umriss *k g l i* begrenzt, während sie sonst der einspringenden Linie *f g h i* gefolgt sein würde. Natürlich wird auch hier der untere Teil des Anfängers aus einem gemeinsamen Werkstücke gearbeitet.

Ebenso würde dieselbe Anlage möglich sein, wenn auch die Diagonalbogen durch profilierte Rippen gebildet wären, die sich dann in derselben Weise wie in Fig. 287a die Gurtrippen, aus der Masse des Rippenanfanges herausschnitten.

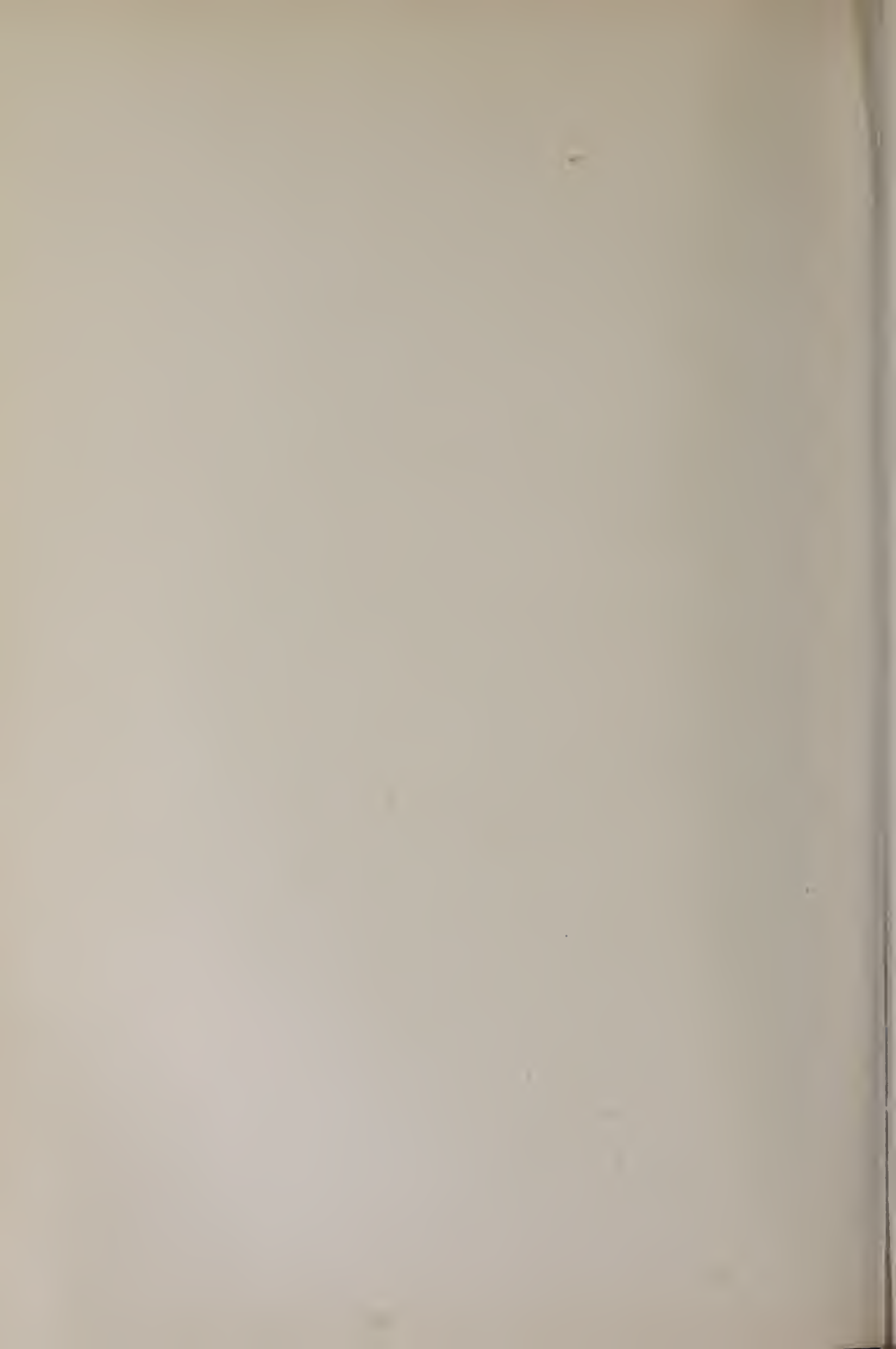
Anfang aus senkrecht stehenden Kernflächen.

Die ganze Anlage hat neben jenen konstruktiven noch den ästhetischen Vorteil, dass sie der eigentlichen Funktion des Rippenanfanges, der Vereinigung der verschiedenen getrennten Rippen in einem Werkstücke, d. h. der verschiedenen Schubkräfte nach dem einheitlichen Pfeiler hin, Ausdruck verleiht. Sie ist der verschiedensten Abwandlungen fähig, je nach der Neigung der unteren Kappenverlängerung. Diese kann eine mässige Krümmung nach einem grösseren Halbmesser haben, sie kann schliesslich zu einer senkrecht stehenden Fläche werden. Solche senkrecht stehende Kernflächen, wie sie die Fig. 288 und 289 zeigen, finden sich von der Mitte des XIV. Jahrhunderts ab sehr häufig an freistehenden Pfeilern, wie auch an Diensten und ausgekragten Wölbanfängen. Ihre Entstehung lässt sich aus dem Streben herleiten, die Masse des Anfängers möglichst zu schonen. Der Grundriss des Rippenanfanges ist mehr oder minder genau irgend einer regelmässigen Grundform einbeschrieben, so in Fig. 288 dem Achtecke, in Fig. 289 dem Kreise. Bei der Bearbeitung musste der Unterfläche des Werkstückes zunächst diese Umrissform gegeben werden. Es lag nun nahe mit Rücksicht auf die grössere Haltbarkeit, das Einarbeiten der zwischen den Rippen entstehenden Vertiefungen zu unterlassen, vielmehr den runden oder polygonalen Kern senkrecht in die Höhe zu führen, so dass sich eine Durchdringung zwischen diesem Cylinder oder Prisma und den in ihren verschiedenartigen Bogenlinien sich bewegenden Rippenprofilen ergab. Zu demselben Resultate gelangt man auch auf anderem Wege. Gesetzt, es sei in Fig. 289 der schraffierte Teil der einem runden Kapitäle oder Kragsteine aufgelegte Rippenanfang; von dem Rande des Kapitäles soll aber ein Wasserschlag in die Tiefen zwischen den sich zusammenschneidenden Rippenanfängen hinauf-

Tafel XXX.



Anfänge über Pfeilern.
284.
285.
286 a.
286 b.
Dijon.
286.
Walkenried.
285 a.
287 a.
287 b.
287.
Kloster Haina.



wachsen. In dem Masse als dieser Wasserschlag steiler wird, muss die Gestalt der in Fig. 289a gezeigten ähnlicher werden und völlig in dieselbe übergehen, sobald der Neigungswinkel des Wasserschlages 90° hat.

Die Konstruktion der Linien, in welchen diese Durchdringung geschieht, ist bereits an der Fig. 281 gezeigt worden. Die ganze Anlage ist sehr verschiedener Gestaltungen fähig, je nach dem Verhältnisse der Rippenprofile zum Kerne. So kann durch ein grösseres Mass des Kernes jedes Zusammenschneiden der benachbarten Rippen, wie es z. B. in Fig. 289 noch stattfindet, vermieden werden, während es umgekehrt bei einem kleinen Kerne in stärkerem Grade eintritt. So können ferner die Rippen, statt wie in Fig. 288 aus den Seitenflächen, aus den „Kanten" des Körpers herauswachsen, desgleichen können sie senkrecht oder schiefwinkelig auf den Kern treffen (letzteres ist bei den Rippen *a* in Fig. 289 angenommen). Endlich kann die Vorderkante einer jeden Rippe in dem Umfange des Kernes liegen oder auch von demselben zurückgeschoben werden, so dass die betreffende Rippe sich oberhalb der Grundlinie, also mit einem leisen Knicke aus dem Kerne herausschneidet. Hierin aber liegt zugleich ein Mittel, der Kappe von vornherein eine beabsichtigte Richtung zu geben.

Soll z. B. die Kappe in Fig. 289 von Anfang an die beiden Rippen *a* und *d* unter gleichem Winkel schneiden, wie dies durch den Horizontalschnitt *ef* angedeutet ist, so würde man die eine oder andere der beiden Rippen soweit in den Kern zurückschieben können, bis diese Bedingung erreicht ist.

Durchdringung der Wölb- und Pfeilergliederung.

Das ganze System der Durchdringung, welches diese Gestaltungen ermöglicht, findet sich schon an den Werken der Frühgotik, wenn es auch in den angeführten Bildungen erst der mittleren Periode angehört. So finden sich Durchdringungen von Bogengliederungen mit den Strebepfeilerflächen, aus welchen sie hervorkommen, ferner Durchdringungen der Giebelprofile mit denselben Flächen, Durchdringungen der Bogenprofile miteinander schon an den ältesten Werken. Es scheint aber, dass man auf die Linien, in welchen die Durchdringung geschah, noch kein Gewicht legte, dieselben sich von selbst gestalten liess, während man in den späteren Perioden erst auf ihre reizvolle Wirkung aufmerksam geworden, dieselbe zu suchen, zu steigern und schliesslich zu übertreiben bemüht war. In dieser Übertreibung befangen, sah man über die wirklichen konstruktiven Vorteile der in den Figuren 287 bis 289 gegebenen Gestaltungen hinweg.

Man fing zuerst an, den polygonen Kern mit konkaven Seitenflächen zu bilden, auch wohl mit masswerkartig zurückgesetzten Feldern zu versehen, so dass die Rippen wie aus einem Fenster herauskamen. Oder man ersetzte das Polygon durch eine Gliederung, welche mit der des Rippenanfanges übereinstimmend, in das Verhältnis der Übereckstellung zu derselben trat, wie Fig. 290 im Grundrisse zeigt. Statt der regelmässigen Übereckstellung begnügte man sich auch wohl damit, dass die vortretenden Teile der Rippengliederung aus den zurücktretenden des Kernes hervorkamen und umgekehrt, dass also z. B. die Rundstäbe der Rippen mit den Kehlen des Kernes und jene des Kernes mit den Kehlen der Rippen eine Durchdringung bildeten. Ein derartiges Beispiel zeigt die Fig. 291, welche den Grundriss eines Pfeilers darstellt, auf welchem zwei stärkere Scheidebogen, zwei Gurt-

rippen und zwei Kreuzrippen aufsetzen. Der obere schraffierte Teil von *a* bis *b* zeigt den Grundriss des Pfeilers, der Teil von *c* bis *h* den einer Gurt- und einer Kreuzrippe, und der Teil *c f* den des Scheidebogens. Fig. 291a stellt die Vorderansicht und Fig. 291b die Seitenansicht dieser willkürlichen Bildung dar. Die Entwicklung des Aufrisses aus dem Grundrisse ist im wesentlichen in dem bei Fig. 281 gezeigten Verfahren enthalten.

Durchdringungen dieser Art, nämlich der Rippen- und Bogengliederungen mit lotrecht ansteigenden Gliederungen, finden sich in den Werken der Spätgotik hauptsächlich in der Weise, dass die letztere Gliederung in ihrer Fortführung nach unten die Pfeiler bildet und dann auf einem Sockel aufläuft. Ein sehr reiches Beispiel bietet die Kirche St. Columba in Köln. Einfach ausgekragte Rippenanfänge wie Fig. 289 dagegen lassen sich nicht wohl in dieser Weise gestalten, weil die komplizierte Gliederung des Kernes sich auf eine gewisse Länge erstrecken muss, um verständlich zu werden.

So wie die Gestaltungen der Figuren 287 bis 289 zunächst durch die Benutzung der Masse des Werkstückes ermöglicht sind, so führt dasselbe Prinzip an manchen frühgotischen Werken auf mehr dekorative, aber im höchsten Grade reizvolle Bildungen. Um z. B. den Rippenanfang (Fig. 288a) nach den darin angegebenen Fugen f', f'' auszuführen, wird das Werkstück $a\,b\,f'\,f''$ erfordert, von welchem der Teil $c\,f'\,f''$ weggearbeitet werden muss. Es ladet aber diese Masse förmlich dazu ein, irgend welche Ornamente daraus zu bilden, und so die ursprüngliche Form des Werkstückes nochmals anklingen zu lassen. Sehr schöne Beispiele dieser Art zeigen die Rippenanfänge vom Chore der Stiftskirche in Wetter, an welchen oberhalb der Dienstkapitäle die Symbole der Evangelisten in der in Fig. 292 angegebenen Weise vor den Rippengliederungen vorspringen. Eine entsprechende Gestaltung liesse sich auch sehr wohl mit dem in Fig 288a gezeigten Rippenanfange in Verbindung bringen, wie z. B. Fig. 293 zeigt. Statt der hier angebrachten Laubbossen kann auch ein fortlaufendes Laubwerk auftreten, wodurch die Wirkung noch reicher wird. Ein überaus schönes Beispiel dieser Art zeigen die Pfeiler an dem Chorumgange der Kathedrale von Auxerre vor der Frauenkapelle (vergl. Figur bei Viollet-le-duc, Bd. IV, S. 149).

Der hier zu erwähnende wunderbare Kranz von Baldachinen und Figuren, welcher die Mittelschiffspfeiler des Mailänder Domes umzieht, trägt weniger den Charakter eines Wölbanfanges als den eines eingeschalteten selbständigen Vermittelungsgliedes.

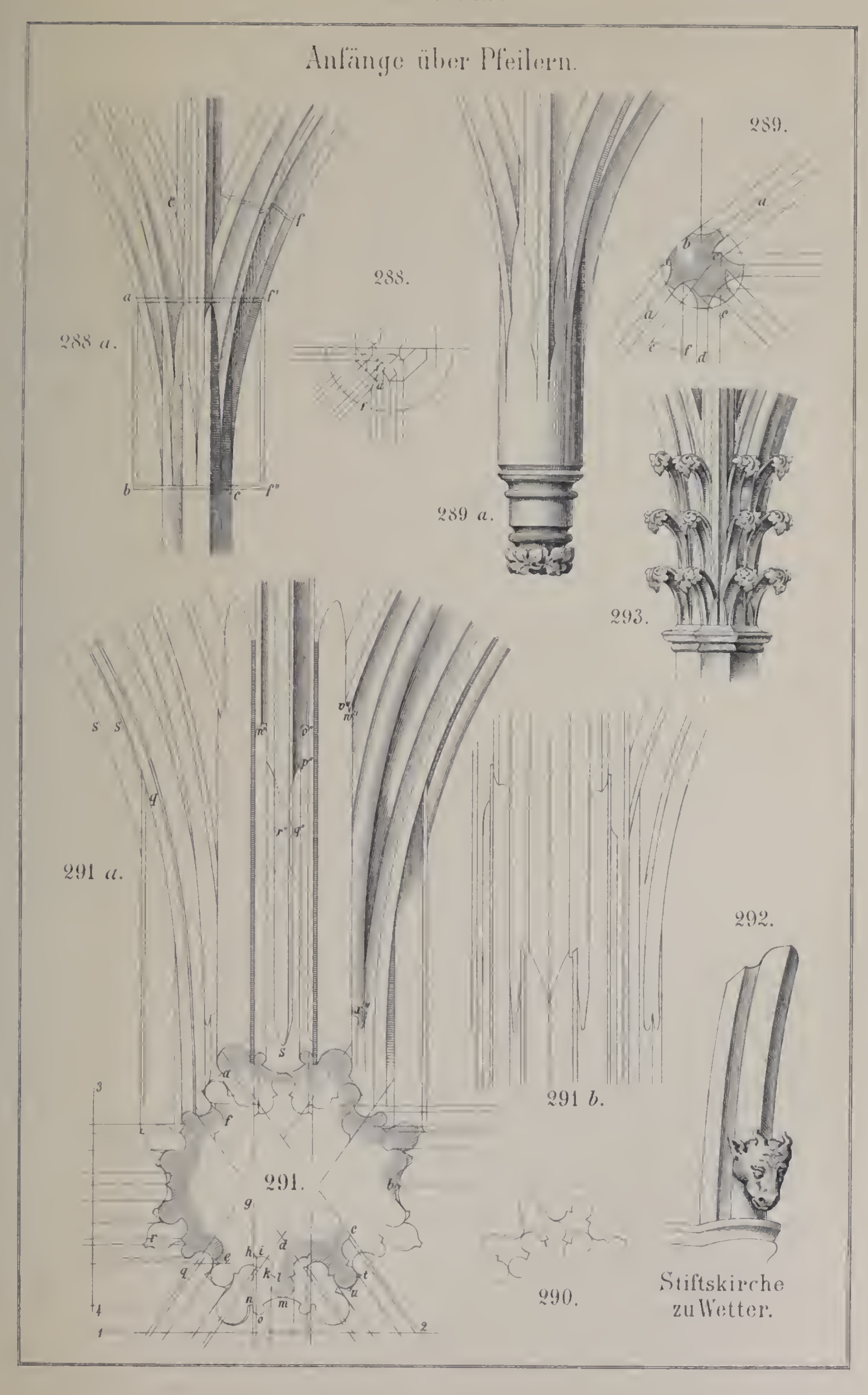
9. Das Kappengemäuer.

Material.

Natürliche Steine.

Die Kappen werden entweder aus natürlichen oder aus künstlichen Steinen aufgeführt, erstere wechseln wesentlich nach den jeweiligen geognostischen Erzeugnissen der Gegend, die schweren und harten Massengesteine sind jedoch stets möglichst gemieden, ab und zu sind die verschiedenen Schiefer, besonders oft aber

Anfänge über Pfeilern.





der Kalk- und Sandstein verwendet. Ein ausnehmend hochgeschätztes Wölbmaterial bilden die leichten Tuffe, der Travertin Italiens, der Duckstein (Trass) vom Rhein und der weit verbreitete Kalktuff, der unter anderem bei Göttingen, Mühlhausen, in Franken, Oberbayern und bei Paris vorkommt. Gute Wölbsteine holte man im Mittelalter oft auf grosse Entfernung herbei. Mit dem Tuffsteine aus der Nähe von Andernach wurde auf dem Wasserwege ein förmlicher Handel nach Holland, Schleswig und Jütland betrieben. Der Tuff hat neben seinem geringen Gewichte die beachtenswerten Eigenschaften, dass an seiner rauhen Oberfläche der Mörtel gut haftet und dass der sehr poröse Stein die Räume warm und die Gewölbe trocken hält.

Künstliche Steine.

Jetzt ist das herrschende Wölbmaterial der Ziegelstein. der sich schon im Mittelalter für Wölbzwecke über seine engere Heimat hinaus Geltung verschaffte. Er ist leicht, porös und hat den Vorzug des gleichmässigen für Wölbzwecke gut geeigneten Formates; er begünstigt das freihändige Mauern und gestattet eine geringe Wölbstärke bei grossen Spannungen. Die übliche Dicke von ein halb Stein oder 12—15 cm kann für unbelastete Wölbungen bis 10 und mehr Meter Spannung verwendet werden, vorausgesetzt, dass Kappen und Rippen richtig geformt sind. Bei natürlichem Stein beträgt die Kappenstärke meist nicht unter 20 cm, nur bei besonders geeignetem Materiale ging man auf 9—15 cm herab. Eine wichtige Eigenschaft eines guten Wölbsteines ist immer ein geringes Gewicht, man hat aus diesem Grunde mit gutem Erfolge poröse Ziegelsteine dadurch gewonnen, dass man dem Thon in grosser Menge Sägespäne oder ähnliche brennbare Stoffe zusetzte, die nach dem Brennen, das sie erfolgreich unterstützen, entsprechende Hohlräume zurücklassen. Es ist in dieser Weise möglich, das Gewicht selbst bis auf die Hälfte herabzudrücken, ohne die Festigkeit in bedenklicher Weise zu mindern. Zu den Rippen, nötigenfalls auch zu den Kappenzwickeln, werden andere hartgebrannte Ziegel verwendet. Die neuerdings immer mehr beliebten durchlochten Steine sind mit einer gewissen Vorsicht anzuwenden, jedenfalls sollte man es mit Rücksicht auf zu fürchtende Mörtelversackungen meiden, die Lochrichtung mit der Hauptdruckrichtung gleichlaufen zu lassen. Ein gutes Wölbmaterial sind bei mässig starker Beanspruchung auch die in der Nähe von Andernach am Rhein in 25×12×10 cm Grösse gefertigten leichten und porösen Schwemmsteine, die aber für Rippen nicht verwendet werden können.

Mörtel.

Das durchgängige Bindemittel ist ein guter steifer Kalkmörtel; Zement, der jedenfalls nicht zu rasch binden darf, ist für die Kappen weniger angezeigt, er kann aber sehr wohl an stark gepressten Gewölbeanfängen, besonders bei solchen aus zugehauenen Ziegelsteinen gute Dienste leisten. Mit Rücksicht auf das verschiedene Setzen der beiden Mörtelarten sollte es gemieden werden, den Zementmörtel auf eine zu grosse Höhe auszudehnen, während seine Ausbreitung in seitlicher Richtung eine Druckübertragung auf grosse Grundfläche begünstigt. Sonst können für stark gepresste Teile, unter anderen für die Fugen der Werksteinrippen, Bleiplatten gute Verwendung finden. Weiteres siehe unten unter Ausführung.

Herstellungsweise.

Wird von Ausnahmebildungen als Topfgewölben und dergl. abgesehen, so sind drei verschiedene Herstellungsarten auseinander zu halten:

1. das Gussgewölbe auf Unterschalung,
2. schichtenweises Mauerwerk auf Schalung,
3. schichtenweises Mauerwerk ohne Schalung — das ist freihändige Mauerung.

Wenngleich alle drei Arten zeitweise nebeneinander vorkommen, so zeigt sich doch im allgemeinen ein Übergang von der ersten zur zweiten und von dieser wieder zur dritten.

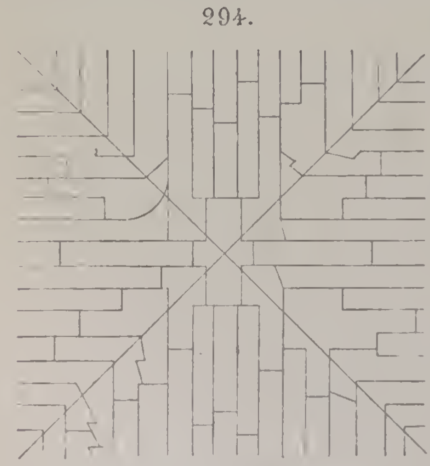
Gusswerk.

Das aus Steinbrocken und Mörtel gebildete Gusswerk lehnt sich an die römischen Überlieferungen an, es verliert aber für die Gewölbe an Bedeutung, sobald man mit Ernst darauf ausgeht, die Wölbdicke um jeden Preis einzuschränken. Für das Innere dicker Mauern behält das Mörtelwerk noch längere Zeit seine alte Beliebtheit.

Schichtenweises Wölben auf Lehrgerüst.

Das schichtenweis hergestellte Mauerwerk auf festem Lehrgerüste zeigt den grössten Wechsel in der Sorgfalt und Vollkommenheit der Ausführung. Man kann drei Abstufungen unterscheiden, zunächst ein unregelmässiges Mauerwerk in vollem Mörtel. Die Steine werden in roher Form mehr oder weniger schichtenweise auf die Schalung gepackt, entweder in ein volles Mörtelbett oder auch trocken mit nachherigem Vergiessen von oben. Auf einer vollkommeneren Stufe steht das regelmässige Bruchsteingewölbe, bei welchem mehr oder weniger ebenflächige und gleichartige Steine mit gleichmässigen Mörtelfiguren schichtenweise aufgemauert werden. Als höchste Stufe ist das Werksteingewölbe aus scharfkantig zugerichteten Steinen mit regelmässigen Fugen zu betrachten. Je unvollkommener das Verfahren ist, um so mehr hängt die Festigkeit von der Güte des Mörtels ab, je entwickelter dagegen die Ausführung ist, um so mehr kann die Wölbstärke vermindert werden. Aus letzterem Grunde erkennt man auch hier wieder im ganzen eine Steigerung in der Güte der Technik; in romanischer Zeit finden wir rohere Bruchsteingewölbe von grosser Stärke, in gotischer Zeit besser gefügte und zugleich weit dünnere Kappen. Damit soll nicht gesagt sein, dass nicht auch die frühromanischen und altchristlichen Abschnitte reich an besonders schön durchgeführten Werksteinwölbungen seien, als Beispiele sollen nur die Kuppeln der Kirchen im westlichen Frankreich, Périgueux usw. und das Kreuzgewölbe im unteren Raume des Theodorichgrabes zu Ravenna angeführt werden. Vom letzteren zeigt die Fig. 294 ein dem Scheitel benachbartes Stück,

294.



Theoderichgrab-Ravenna

das sehr schön die zur Anwendung gebrachte hakenartige Verzahnung der einzelnen Steine hervortreten lässt.

Freihändiges Wölben.

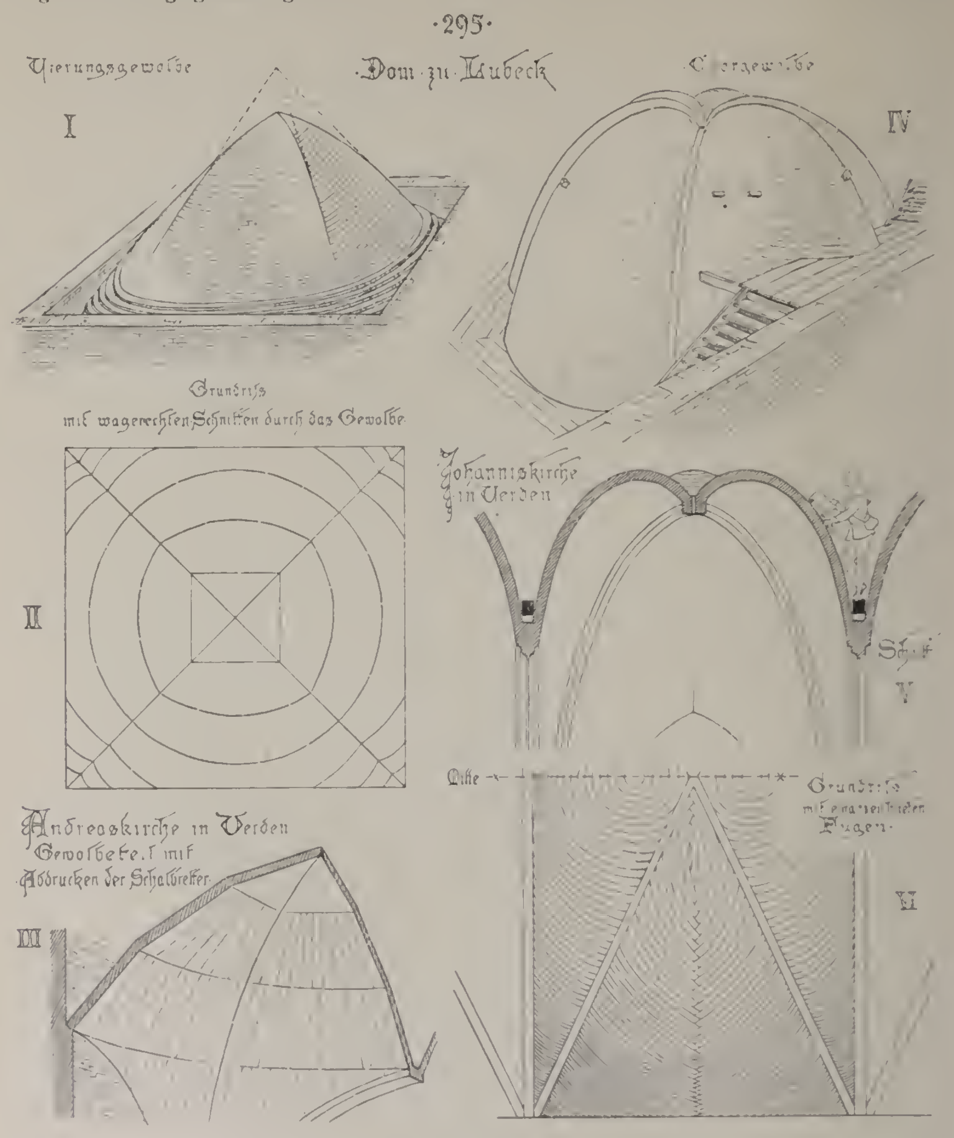
Als höchster Ausdruck einer vollendeten wenn auch uralten Technik (vergl. vorn S. 4) erscheint die freihändige Wölbung, die aber an ein geeignetes Material gebunden ist, entweder an den Ziegelstein oder an kleine, leicht zurichtbare Werksteine, seien sie Kalk-, Sand- oder Tuffstein. Sie entwickelte sich daher zunächst in den Ziegelgebieten und Gegenden mit geeignetem Werksteine, unter letzteren ist Isle de France zu nennen, wo die Wölbstärke nach Viollet-le-Duc in der Regel nur 10—12 cm betrug. Der Transport leichter Wölbmaterialien (s. oben S. 103) wurde in angemessenen Grenzen auch mit Rücksicht auf das freihändige Wölben getrieben. Die beim freihändigen Wölben zu wählende Lage der einzelnen Schichten wird weiter unten noch eine ausführlichere Besprechung erfahren.

Die Ziegelgewölbe waren bis etwa zur Mitte des XIII. Jahrhunderts einen Stein dick, sodann wurde fast allgemein eine Kappenstärke von $^1/_2$ Stein oder 12—15 cm angenommen, man pflegte dieselbe für unbelastete Gewölbe bis 10 m noch als auskömmlich anzusehen, während für Gewölbe von 10—14 m eine durch besondere Ziegel erreichbare Kappenstärke von $^3/_4$ Stein oder 18—22 cm angemessen ist. In der Gotik benutzte man im Ziegelgebiete sehr oft Steine von der Grösse eines Dreiviertelstückes z. B. 22×14×8 cm, die man im unteren Wölbdrittel als Köpfe bei dreiviertelsteiniger Kappenstärke, im oberen Teile aber als Läufer bei halbsteiniger Wölbdicke benutzte. Kleine stark busige unbelastete Kappen kann man noch weit dünner ausführen, mit 10 cm oder selbst ein $^1/_4$ Stein Dicke. Vorausgesetzt, dass Kappen und Rippen statisch richtig in der Weise gebildet sind, dass die Kappen nur sich selbst haltende Füllflächen, die Rippen aber die eigentlichen Kraftträger sind, so würde nichts im Wege stehen, engmaschige Rippengewölbe von beliebiger Grösse mit $^1/_4$ Stein starken Kappen zu schliessen. Eine Grenze der Spannweite würde durch die Haltbarkeit der Rippen, nicht diejenige der Kappen vorgezeichnet sein.

Es bietet ein ganz besonderes Interesse, den Übergang vom Wölben auf Schalung zum freihändigen Wölben im Gebiete des Ziegelbaues zu verfolgen. Wenn es auch nicht möglich ist, hier die einzelnen Entwickelungsstufen darzulegen, so sollen doch die Unterschiede, die sich in Wölbform und Wölbstärke aussprechen, an einigen Beispielen in den Skizzen 295 I bis V gezeigt werden. Fig. I zeigt die noch auf Schalung hergestellten überhöhten Gewölbe des Domes zu Lübeck, welche aus mehreren Schalen übereinander in ringförmigen und ansteigenden Schichten mindestens $1^1/_2$ Stein dick gemauert sind. In Fig. II ist durch das Eintragen der Grundrisse in verschiedenen Höhen veranschaulicht, wie die unten vorspringenden Grate oben zu Kehlen werden, während der obere Teil des Gewölbes fast einer Pyramide ähnelt. Fig. III zeigt den Schnitt durch ähnliche Gewölbe in der Andreaskirche zu Verden, bei welchen die Schalbretter in der Richtung der Scheitellinie gelegt waren, jedoch einen gebogenen Linienzug machten, damit eine gekrümmte Scheitellinie erreicht würde.

Im Gegensatze dazu sind der Fig. I in Fig. IV gotische, freihändig hergestellte Chorgewölbe aus demselben Lübecker Dome und der Fig. III in Fig. V gotische Schiffgewölbe aus der Johanniskirche in Verden gegenübergestellt. Diese $^1/_2$ Stein starken Gewölbe zeigen bei starker Überhöhung ringförmige Schichten. Da die Gewölbe der Johanniskirche in Verden weit länger als breit sind, ergiebt sich im Grundrisse (Fig. VI) eine verschiedene Schichtenrichtung in den Kappen.

Bei Fig. V hat man trotz der starken Busung und Überhöhung die Gurte so tief liegen lassen, dass die Hauptbinderbalken durchgeführt werden konnten. Fig. IV und V können als Typen für die gotischen Ziegelgewölbe gelten.



Kappenform und Wölbdruck.

Es ist schon weiter oben (Seite 48) ausgeführt, dass die Übertragung des Wölbdruckes in den Kappen, abgesehen von Zufälligkeiten, sich nach der allgemeinen Kappenform, weniger nach den Kappenschichten richtet. Es konnte daher eine allgemeine Betrachtung über die zweckmässige Wölbform angestellt werden, ohne Rücksicht auf die Ausführung, die dabei gewonnenen Resultate gelten im gewissen Sinne selbst für Gussgewölbe aus zugfestem Mörtel.

Die viel verbreiteten Annahmen, dass Gussgewölbe jede beliebige Gestalt annehmen könnten, und dass von ihnen kein Widerlagsdruck ausgeübt würde, sind nur bedingungsweise zutreffend. Wenn das Gusswerk starke Zugkräfte völlig zuverlässig aufnehmen kann, aber auch nur in diesem Falle, dann gestattet es allerdings eine gewisse willkürliche Entfernung von der günstigsten Drucklinie. Je erheblicher aber die Abweichung wird, um so grösser werden auch die Zugkräfte, um so ausgedehnter muss aber auch der widerstehende Querschnitt werden, d. h. starke Abweichungen von der Drucklinie erfordern grössere Wölbstärke. Den geringsten Materialverbrauch wird ein Gussgewölbe stets aufzuweisen haben, wenn es der Form der Stützlinie folgt. Ausserdem wird es dann durch zufällige Beeinträchtigung der Zugfestigkeit, wie durch Temperaturrisse, Setzungen, nicht im Bestande gefährdet.

Gewölbe mit Zugspannungen.

Sehr bedenklich ist die Voraussetzung, dass Gussgewölbe keinen Schub liefern. Natürlich lassen sich gerade oder wölbartig gebogene Platten aus Gussmasse bilden und einem Balken gleich auflagern; sie sind zwar weniger zuverlässig als eine Steinplatte, können aber immerhin bei guter Ausführung als Ersatz dienen. Solche Platten sind dann aber auf Biegung als Balken zu berechnen, wobei sich eine entsprechend grössere Dicke ergiebt, ganz besonders bei starker Belastung.

Man verwechselt gar zu gern Balken und Gewölbe. Der Balken (ebenso die gebogene Platte) ist an den Enden nicht verspannt, liefert keinen Seitenschub und wird auf Biegung (Druck und „Zug") beansprucht. Das Gewölbe hat eingespannte Enden, liefert Seitenschub, wird dafür aber nicht auf Biegung, sondern auf Druck beansprucht und kann bedeutend dünner sein.

Würde man eine gebogene Platte genügender Stärke einer grossen Schale gleich fertigstellen und nachher behutsam auf die Widerlager setzen, so wäre kein Schub zu erwarten, sonst aber kommen schon, solange der Mörtel noch weich ist, trotz der Lehrgerüste grosse Seitenpressungen auf die Widerlager, im vollen Umfange aber tritt der Schub auf, wenn aus irgend einem Grunde die so leicht eintretenden Risse das Gewölbe teilen. Da das Gusswerk meist sehr massig ist, überdies ein grosses specifisches Gewicht zu haben pflegt, so werden die auftretenden Schubkräfte sogar ganz besonders gross; nicht ohne Grund haben die praktischen Römer ihre schweren Wölbungen durch ganz gewaltige Widerlager gestützt. Besonders zu warnen ist vor einer zu vertrauensseligen Verwendung weiter flacher Betondecken.

Bei den wenig elastischen Eigenschaften aller Stein- und Mörtelmaterialien ist es immer gewagt, mit ihrer ununterbrochenen Zugfestigkeit zu rechnen, will man sich nicht verhängnisvollen Zufälligkeiten aussetzen, so verzichtet man ganz darauf, sie auf Zug zu beanspruchen. Letzterer Standpunkt soll auch hier gewahrt bleiben und das um so mehr, als es sich darum handelt, Konstruktionen monumentaler Art auszuführen. Wer mit Aufmerksamkeit viele Hochbauten beobachtet, welche durch Jahrhunderte den Schwankungen der Stürme ausgesetzt waren, der wird wissen, wie übel der Baumeister beraten ist, der den Bestand eines Monumentalbaues von der Zugfestigkeit des Mörtels abhängig macht. Es wird ferner die Forderung aufzustellen sein, dass die Druckkräfte stets eine gesicherte Lage im Innern der Kappe haben, dass an keiner Stelle die Beanspruchung auf Druck das zulässige Mass überschreitet und dass unter der Einwirkung des Druckes kein Gleiten der einzelnen Teile aufeinander zu befürchten ist.

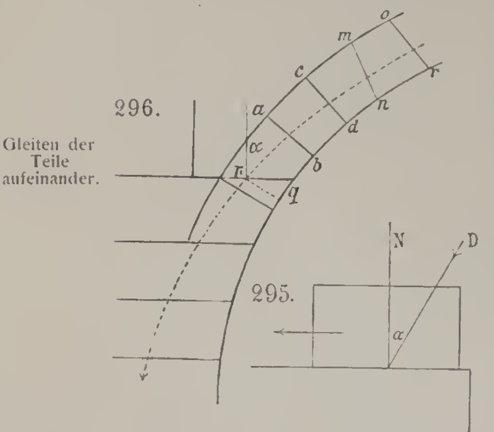
Gewölbe allein mit Druckspannungen.

Über die günstigste Form der Kappen nach Massgabe der Druckkurven ist Seite 52 und folgende ausführlich gehandelt, bezüglich der Druckbeanspruchung kann noch nachgefügt werden, dass in den meisten Fällen der in unbelasteten Kappen auftretende Druck bei richtiger Form der Kappen weit unter der zulässigen Grenze bleibt. Als letztere kann man etwa annehmen für gewöhnliche gut gebrannte Ziegelsteine in Kalkmörtel 7 kg auf 1 qcm, für poröse Steine 3—5 kg, für die rheinischen Schwemmsteine 2—3 kg. Harten Ziegelsteinen oder Klinkern

in Zementmörtel kann man 11 oder auch wohl 14 kg Druck auf 1 qcm zumuten, natürlichen Steinen je nach ihrer Härte und dem verwendeten Mörtel 7 bis 20 kg und mehr.

Gleiten der Teile aufeinander.

Das Gleiten der Steine bedarf noch einer Erörterung. Wenn ein Stein auf seine Unterlage einen schräg gerichteten Druck D (Fig. 295) ausübt, so wird er unter Umständen auf dieser Unterlage fortgleiten und zwar um so leichter, je schräger der Druck wirkt, oder mit andern Worten je grösser der Winkel α zwischen Druckrichtung und dem auf die Unterfläche gefällten Lote N ist. Den Winkel α nennt man den Reibungswinkel, er ist sehr verschieden nach der Oberflächenbeschaffenheit der sich berührenden Körper. Während zwei polierte Steine vielleicht schon bei einem Neigungswinkel von etwa 10° zum Gleiten gebracht werden, kann der Druck zweier rauher Steine einen Winkel von 60—80° zu der Senkrechten einnehmen, bevor ein Verschieben eintritt. Für die Gewölbe kommt selten ein Gleiten von Stein auf Stein in Frage, vielmehr handelt es sich hier um die Reibung zwischen Mörtel und Stein oder wohl ebenso häufig um die Verschiebung der Mörtelteile gegeneinander. Neben der rauhen Oberfläche der Steine kommt es also ganz besonders auf die Beschaffenheit des Mörtels an, dessen Reibungswiderstand sich nach der Art seiner Bestandteile, seiner Mischung und Güte in den weitesten Grenzen bewegt. Nach stattgehabter Erhärtung wird bei mässig gutem Mörtel und mässig rauher Steinfläche der Reibungswinkel selten unter 60 oder 70° liegen. Sobald der Mörtel nur etwas angebunden hat, wird der Reibungswinkel über 45° betragen. Dagegen kann man bei dem noch weichen, breiartigen Mörtel von einem bestimmten Reibungswinkel überhaupt kaum sprechen; wenn er sehr dünnflüssig und beweglich ist, so kann schon bei weniger als 20° Neigung ein Gleiten eintreten, andererseits ermöglicht es ein guter, steifer Kalkmörtel, einen Ziegelstein an eine senkrechte Wand zu kleben.



Bei freihändig eingewölbten Kappen, deren Herstellung an die Verwendung eines steifen Mörtels gebunden ist, kann man gewöhnlich mit einem Reibungswinkel von etwa 45° rechnen. Andererseits sind Fälle vorgekommen, dass noch nicht geschlossene freihändige Kappenwölbungen durch ein sogleich nach dem Mauern vorgenommenes Hintergiessen mit dünnem Zemente zum Einsturze gebracht sind. Durch das Aufweichen der Mörtelfugen wird der Reibungswiderstand minimal geworden sein, eine statisch ungünstige Form der Kappen dürfte gleichzeitig vorgelegen haben.

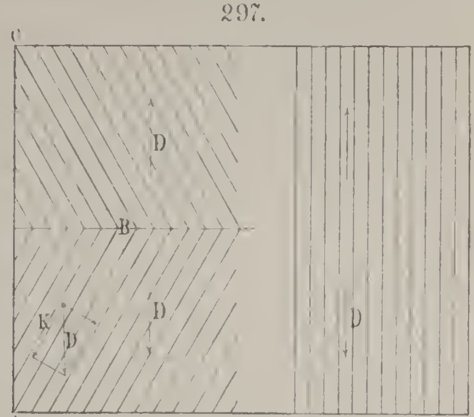
Es empfiehlt sich, von den Maurern ein Wölben mit vollen Fugen zu verlangen, ohne dass auf der oberen Fläche des Gewölbes ein Übergiessen oder Überschlemmen mit Mörtel überhaupt gestattet wird. Ein solches kann nachträglich nach 8 oder 14 Tagen, soweit es überhaupt erforderlich ist, nachgeholt werden.

Lage der Fugen mit Rücksicht auf das Gleiten.

Die Gefahr des Gleitens erfordert eine Beachtung der Fugenrichtung im Durchschnitte und im Grundrisse. Stellt Fig. 296 den Durchschnitt durch eine Kappe oder irgend einen Bogen mit eingezeichneter Drucklinie dar, so darf zunächst der Winkel α am Anfänger nicht grösser werden als der zulässige Reibungs-

winkel (weicher Mörtel vorausgesetzt). Sollte dieser Fall eintreten, so muss man die betreffende Fuge ganz oder wenigstens im vorderen Teile noch radial richten, wie es die punktierte Linie $p\ q$ andeutet. Es dürfen ferner die Wölbfugen $a\ b$, $c\ d$ usw. nicht unter zu flachem Winkel von der Drucklinie getroffen werden. Diese Möglichkeit ist bei radialer Lage der Fugen in den uns angehenden Gewölben kaum zu fürchten, nach Massgabe des Reibungswinkels würden sogar Fugen zulässig sein, die nach oben etwas konvergieren wie $m\ n$ und $o\ r$. Natürlich wird man derartige Unregelmässigkeiten meiden, da ein einzelner Stein durch Zufall ohne Spannung und ohne Mörtelbindung sein und herabstürzen könnte.

297.



Die gleiche Beachtung verdient die Reibung der im Grundrisse in Erscheinung tretenden Lagerfugen – die kurzen Stossfugen kommen weniger in Frage. Die Gefahr einer Verschiebung tritt am wenigsten ein, wenn die Schichten senkrecht zur Druckrichtung laufen, ihre Lage bleibt aber immer noch gesichert, wenn sie von dieser günstigsten Richtung um weniger als den Reibungswinkel abweichen.

Man darf annehmen, dass der Wölbdruck nicht beeinflusst wird, so lange die Schichtenrichtung um weniger als den Reibungswinkel vom Lote zur Druckrichtung abweicht. (Das heisst mit anderen Worten, solange der Winkel zwischen Druck- und Schichtenrichtung nicht flacher ist als 90° weniger den Reibungswinkel.) In diesen Grenzen ist es ganz gleichgültig, wie auch immer die Schichten laufen mögen (vergl. darüber die Ausführungen S. 52 usw.).

Würde bei einer tonnenförmigen Kappe der Mörtel beim Mauern oder wenigstens beim Ausrüsten so steif sein, dass der Reibungswinkel 45° wäre, so dürfte demnach der Winkel zwischen den Schichten und der Wölbachse höchstens diesen Wert haben. Läge nun wie in Fig. 297 aber ein grösserer Winkel, z. B. 60° vor, so würde eine Bewegung der Schichten gegeneinander oder soweit diese verhindert ist, wenigstens eine Druckänderung bezüglich der Widerlager eintreten. Der Teil ABC der Schichten würde z. B. die Stirnmauer belasten und zwar mit einer aus dem Drucke D abgeleiteten Seitenkraft K, vermindert um den Reibungswiderstand. Die Kraft würde allerdings nicht sehr gross ausfallen, der Hauptschub bliebe immer den eigentlichen Widerlagern. Wenn das Gewölbe noch weiter erhärtet wäre, derart, dass der Reibungswinkel über 60° betrüge, so würden die Stirnmauern nun sogar sich durch Setzen oder Ausweichen entlasten können, worauf der ganze Schub wieder allein durch die unteren Widerlager aufgenommen werden müsste.

Die Möglichkeit, dass die Schichtenlage eine abweichende Druckverteilung erzeugt, wird am leichtesten vorliegen, solange der Mörtel noch weich ist, will man daher sicher gehen, dass die Druckübertragung wirklich nach der Wölbform vor sich geht, so ist es gut die Schichten von ihrer günstigsten Richtung senkrecht zum Drucke nicht um mehr als 45° abweichen zu lassen (bei der Forderung grösster Sicherheit event. auch nur 30°). Bei kuppelartigen Wölbungen, welche Druck in der Meridian- und der Ringrichtung bekommen, ist die Schichtenrichtung noch viel weniger, meist gar nicht beschränkt.

Eine Schichtenlage bedarf noch besonderer Erwähnung, es ist das die bei den Byzantinern, aber auch im weiteren Mittelalter geübte, neuerdings wieder durch MOLLER zu Ehren gebrachte Lage senkrecht zum Scheitel (Fig. 297 rechts), Sie erleichtert unter manchen Bedingungen das freihändige Mauern. Bei ihr fällt die Richtung von Schicht und Druck zusammen, es überträgt jede Schicht ihren Druckanteil für sich auf das Widerlager, hier kann natürlich auch keine Abweichung von der richtigen Druckverteilung auftreten.

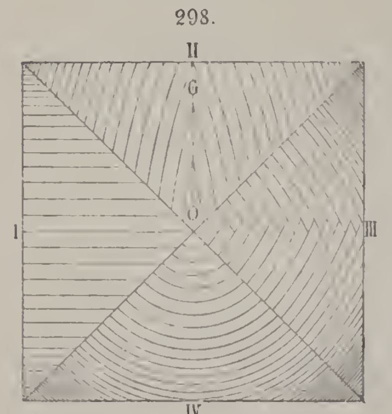
Bei den meisten in der Praxis üblichen Schichtenlagen ist eine Beeinflussung der Druckrichtung durch die Richtung der Schichten nicht vorauszusetzen.

Anordnung der Schichten.

Schichtenlage bei den Alten.

Dürfen wir annehmen, dass die Schichtenanordnung für die Druckübertragung meist ohne Einfluss bleibt, so ist sie desto wichtiger für die Bequemlichkeit der Ausführung. Es sind daher in dieser Richtung in früher und neuerer Zeit mannigfache Versuche gemacht. Sofern die Alten ihre Gewölbe auf voller Schalung herstellten, war für sie die Schichtenlage von geringerem Werte, wölbte man aber freihändig, so gelangte sie sofort zu besonderer Bedeutung.

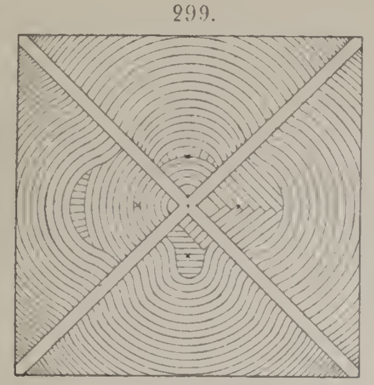
298.



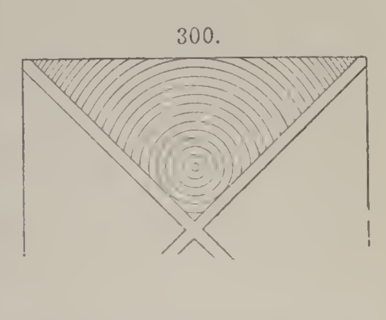
Gewöhnlich bildeten die Fugen bei den Tonnengewölben sowohl wie bei den aus Tonnen zusammengesetzten Kreuzgewölben gerade Linien, die bei den frühromanischen Gewölben sowohl „wagerecht“, als auch „gleichlaufend mit der Tonnenrichtung“ waren. (Kappe I in Fig. 298.) Als man zu überhöhten Wölbungen überging, konnten die Fugen nicht mehr beide Eigenschaften zugleich haben. Blieben sie gleichlaufend mit der Tonnenachse, so stiegen sie nach der Mitte zu an; blieben sie dagegen wagerecht, so nahmen sie eine andere Richtung im Grundrisse ein. (II in Fig. 298.) Die erste Art, also die gleiche Richtung mit der Kappenachse, wurde in vielen Gebieten von Deutschland und im östlichen Frankreich gepflegt, während man in dem derzeit englischen Westfrankreich – jedenfalls im Anschlusse an die dort üblichen in horizontalen Ringen gewölbten Kuppelgewölbe — den zweiten Weg einschlug. Denselben verfolgt man auch in der Normandie und in England, er führt hier zu der Aufnahme der Scheitelrippe und bildet die Grundlage für die bei den späteren Netz- und Fächergewölben übliche Herstellungsart. Die mehr oder weniger wagerechten Schichten traten aber auch früh in andere Gegenden über. Von besonderem Einflusse auf die Richtung der Schichten wurde das freihändige Mauern, das in den Gebieten mit leicht zu bearbeitenden kleinen Werksteinen, am allgemeinsten aber in den Backsteingegenden zur Herrschaft gelangte. Das freihändige Aufmauern erforderte krumme und kurze Schichten, die man zu erreichen suchte, so gut es ging.

Dass man sich beim freihändigen Mauern nicht gar zu sehr an eine vorher ersonnene Schablone hielt, sondern sich zu helfen suchte, wie es am besten möglich war, zeigen in interessanter Weise die Gewölbe am Domkreuzgange zu Riga, die dem XIII. Jahrhundert angehören. Es finden sich unmittelbar nebeneinander die in Fig. 299 skizzierten Anordnungen. Die Kappen sind, wiewohl Stirn- und Kreuzbogen spitz sind, kuppelartige Flächen, deren Gipfelpunkte seitwärts von der Wölbmitte an der durch ein Kreuz bezeichneten Stelle liegen. Die ringförmigen Schichten liegen ungefähr horizontal, der Schluss der Kappen hat fast in jedem Felde eine andere Lösung gefunden, da die in der Fig. 300 gezeichnete regelrechte Ringanordnung sich am Kappengipfel schlecht durchführen lässt.

299.



300.



Es mögen nun die wichtigsten Schichtenlagen etwas näher besprochen werden.

1. Schichten gleichlaufend mit der Firstlinie blieben in den Gegenden, wo man auf grössere Bruchsteine angewiesen war, bis in unser Jahrhundert üblich, sie waren fast typisch für die Gewölbe ohne Busung auf Schalung. Am liebsten benutzte man die leichten Tuffsteine; an der Alexandrikirche zu Einbeck sind solche bis 60 cm Länge und 20 oder 30 cm Dicke verwendet.

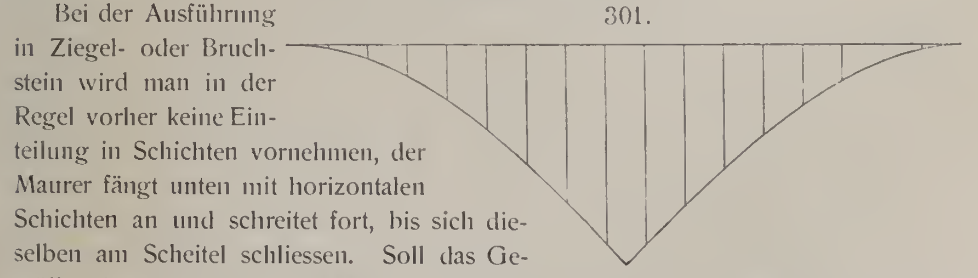
1. Schichten gleichlaufend mit der Firstlinie

Ein freihändiges Mauern solcher Gewölbe würde nur ausführbar sein für sehr geringe Abmessungen, denn die oberen Schichten würden gleich scheitrechten Bogen sich halten müssen, was bei ihrer grossen Länge nicht wohl möglich ist. Bei hohen, spitzbogigen Kappen wird diese Schwierigkeit geringer, immerhin wird man aber für die oberen Schichten eine sichere Unterstützung durch Latten oder Schalbretter kaum entbehren können, meist wird man die ganze Kappe einschalen.

Der einfachste Fall liegt vor, wenn das Gewölbe weder eine Überhöhung noch eine Busung hat, die Fugen laufen parallel dem Firste und sind geradlinig wie beim einfachen Tonnengewölbe, es ist dabei ohne Einfluss, ob die Kappen nach einem runden oder spitzen Querschnitte geformt sind.

Kappen ohne Busung und Überhöhung.

301.



Bei der Ausführung in Ziegel- oder Bruchstein wird man in der Regel vorher keine Einteilung in Schichten vornehmen, der Maurer fängt unten mit horizontalen Schichten an und schreitet fort, bis sich dieselben am Scheitel schliessen. Soll das Gewölbe dagegen sauber in Werkstein ausgeführt werden, so kann man die Fläche abwickeln und in der Abwickelung die Einteilung vornehmen, Fig. 301. Jede Schicht läuft geradlinig und in gleichmässiger Breite vom Schildbogen herüber. In Fig. 302 I ist eine Schicht ausgetragen. Unbedeutende Abweichungen entstehen nur insoweit,

als die Projektion des Kreuzbogens von dem Schildbogen abweicht, z. B. bei spitzem Schildbogen und halbkreisförmigen Grate.

Kappen mit Busung und Überhöhung.

Wenn ein überhöhtes Gewölbe vorliegt mit geradlinig steigendem Scheitel, so bekommt eine ausgetragene Schicht 302 II keine gleichmässige Breite mehr, sie erweitert sich vielmehr nach dem Grate zu. Bei busigen nicht überhöhten Gewölben wird die Schicht in der Mitte bauchig erbreitert (Fig. 302 III), eine Abwickelung der allseits gekrümmten Fläche ist nun nicht mehr möglich; ist die Kappe aber gleichzeitig überhöht und busig, so wird eine Schicht in der Mitte bauchig und zugleich nach dem einen Ende erbreitert. Fig. 302 IV.

302.

I II III IV

Wenn die Überhöhung oder Busung unbedeutend ist, so sind auch diese Abweichungen für die einzelne Schicht so gering, dass sie sich durch die Fuge leicht ausgleichen lassen. Treten sie stärker hervor, so muss man bei Ziegelverwendung einen Teil der Steine etwas behauen oder von Zeit zu Zeit durch eine keilartige Schicht einen Ausgleich vornehmen. Bruchsteine wird man nach der nötigen Dicke aussuchen können. Werksteine müssen bei sauberer Ausführung entsprechend zugerichtet werden, was der Einfachheit wegen durch Einpassen oben auf der Rüstung geschieht.

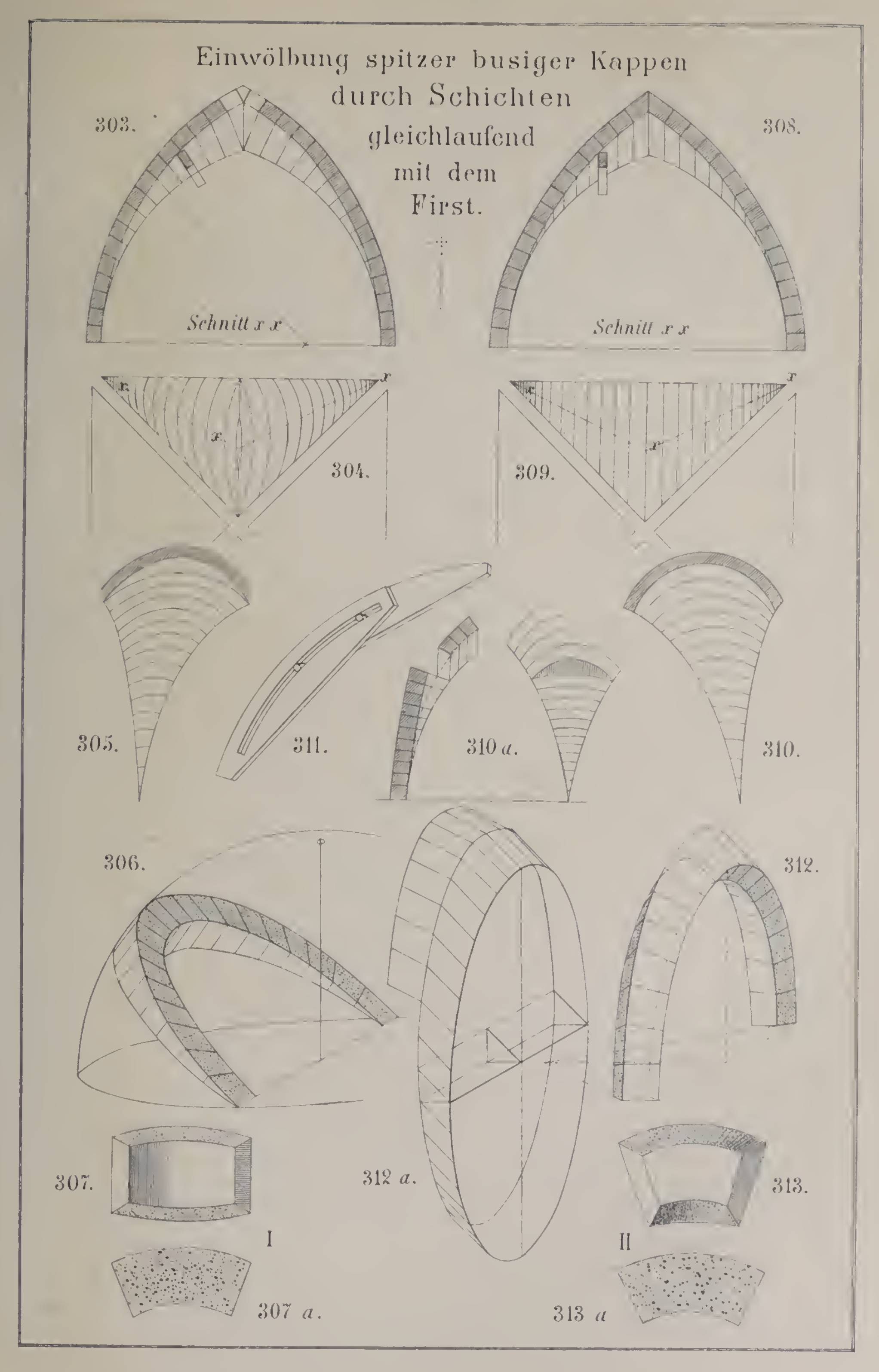
Spitze busige Kappen.

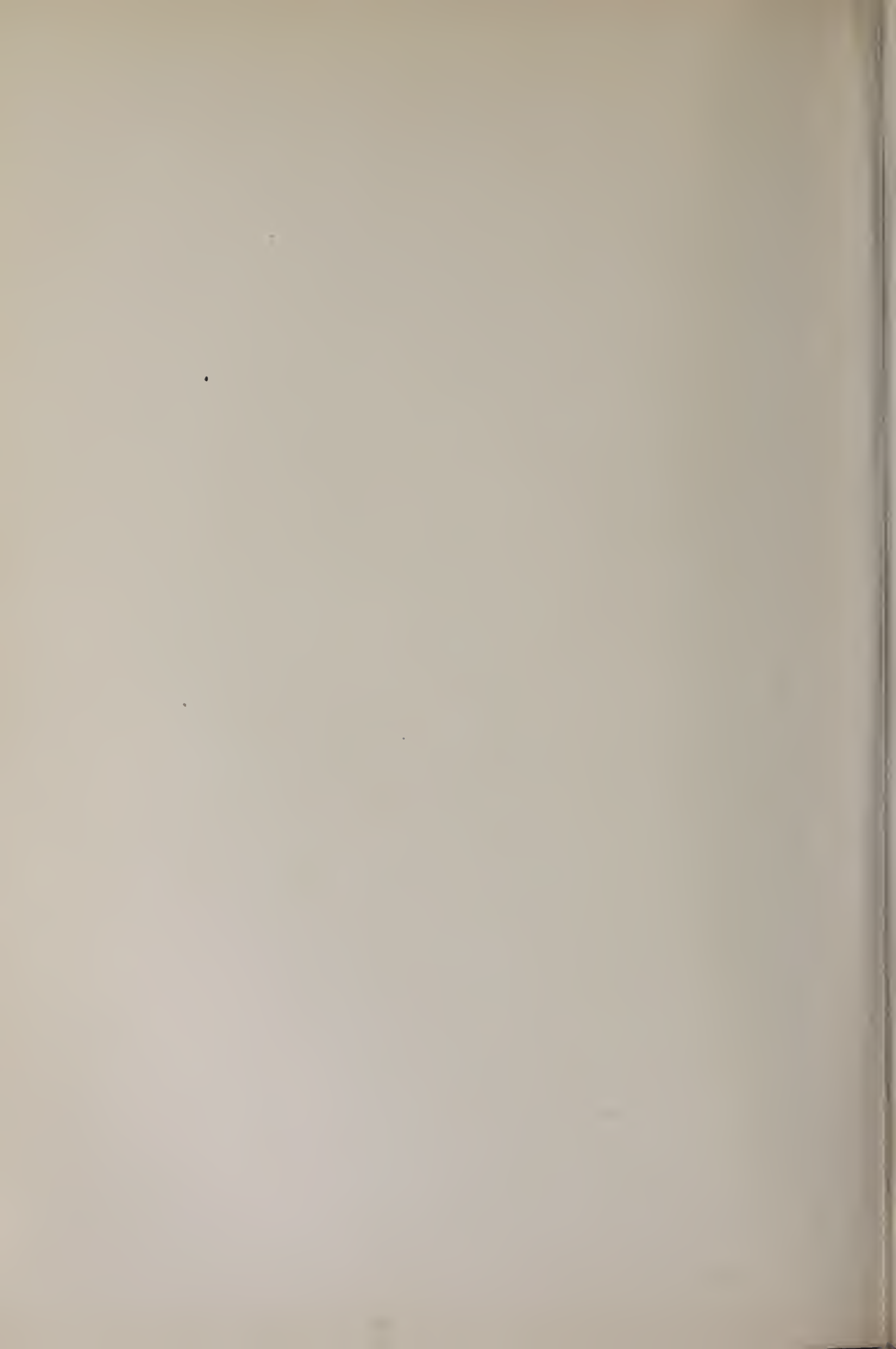
Eine besondere Unregelmässigkeit ergiebt sich bei spitzen busigen Kappen oben am Scheitel. Werden die Schichten radial zum Bogen gesetzt, so bleibt, wie Fig. 303 im Schnitte und Fig. 304 im Grundrisse zeigt, oben ein linsenförmiger Spalt, der durch zugehauene Steine auszufüllen ist. Seine Schliessung ist an älteren Gewölben zuweilen in ziemlich unregelmässiger Weise bewirkt; mit Ziegelsteinen ist sie immer noch leichter zu vollführen als mit Bruchsteinen. Bei dieser Wölbart mit radialen Fugen, die meist freihändig bewirkt wird, zeigen sich die Fugen im Grundrisse als gekrümmte Linien, siehe Fig. 304. Fig. 305 zeigt die innere Ansicht einer Kappe und in Fig. 306 ist die Gestalt einer ergänzten Schicht dargestellt, dabei ist zum leichteren Verständnisse angenommen, dass die Kappe ein Stück einer Kugelfläche bildet.

Ein wesentlich anderes Verfahren giebt Viollet-le-duc an in seinem *dictionnaire raisonné de l'architecture* etc. Bd. IV. S. 105. Danach erscheinen die Fugen im Grundrisse als Gerade parallel der Scheitellinie. Die Lagerfugen sind nicht wie vorher radial gerichtete Ebenen, sondern gebogene kegelartige Flächen. Zum Vergleich ist diese Wölbart in den Figuren 308 bis 312 der vorigen gegenübergestellt.

Wird jede Schicht bis zu ihrem Schluss durch einen verschieblichen Lehrbogen unterstützt, der am besten jedesmal unter der oberen Kante der zu setzenden Schicht aufgestellt wird, so wird dieser Lehrbogen bei dem ersteren Verfahren radial gerichtet sein (Fig. 303), bei dem Verfahren nach Viollet dagegen jedesmal senkrecht (Fig. 308). Da die Schichtlänge von unten nach oben beständig wächst, empfiehlt Viollet-le-duc zur Unterstützung zwei nebeneinander mittels Nut und Zapfen verschiebliche Bogenbretter, die sich durch Ausziehen beliebig verlängern lassen (Fig. 311). Wenn der Maurer nur darauf achtet, dass die Seitenfläche dieser Lehre jedesmal genau senkrecht steht, so wird ihm durch dieselbe die Fuge genau vorgezeichnet, er wird in jeder Schicht einen kleinen Ausgleich vornehmen, da die Enden um ein geringes schmäler sind, als die Mitte. So wird der Maurer ohne sein Zuthun veranlasst, jeder Schicht eine ihr zukommende Form zu geben,

Tafel XXXII.


Einwölbung spitzer busiger Kappen
durch Schichten
gleichlaufend
mit dem
First.
303.
308.
Schnitt x x
Schnitt x x
304.
309.
305.
311.
310 a.
310.
306.
312.
307.
312 a.
313.
I
II
307 a.
313 a



bis er in der Mitte ankommt, wo sich ein regelrechter Schluss des Scheitels von selbst ergiebt. Es braucht dem Maurer nichts weiter gegeben zu werden, als die Pfeilhöhe für die längste Schicht im Scheitel oder richtiger der Halbmesser seiner Lehre, alles andere ergiebt sich dann von selbst. Es wird am angegebenen Orte empfohlen, das untere Drittel wie eine gewöhnliche Mauer ohne Lehre aufzuführen, wobei der Maurer sich den jeder Schicht gebührenden Stich auf der Lehre entnimmt, indem er einen Faden von Schichtlänge als Sehne auf den Bogen legt. Es ist dieser Erklärung eine Skizze beigegeben, welche die Schichten im unteren Drittel zeigt, dieselben haben keine Biegung nach oben, scheinen vielmehr ihren Stich seitwärts zu haben. VIOLLET begeht hier eine kleine Ungenauigkeit; wenn in der von ihm angegebenen Weise das untere Drittel gemauert würde, so entstände da, wo die Verwendung des Lehrbogens beginnt, eine linsenartige Öffnung und ein Knick in der Kappenrichtung, wie Fig. 310a in Schnitt und Ansicht zeigt. Um diesen Mangel auszugleichen, würden hier kleine unregelmässige Übergänge nötig werden, die lästig und hässlich werden können. Es dürfte deshalb richtiger sein, auch die unteren Schichten, selbst wenn sie ohne Lehrbogen gewölbt werden, schon etwas nach oben zu krümmen, wie es auch in der Ansicht 310 angenommen ist.

Vergleicht man die beiden Wölbverfahren, so ist unverkennbar beim zweiten ein Vorteil darin zu sehen, dass die richtige Stellung des Lehrbogens sich leicht überwachen lässt, und dass sich eine regelmässige Lösung für den Scheitel ergiebt. Ungünstiger ist dagegen die Gestaltung der Lagerfuge, die beim ersten Verfahren in einer Ebene liegt, hier aber eine komplizierte, kegelartig gebogene Fläche ist. Die Mantelflächen der Kappen sind auch voneinander abweichend, bei der ersten Konstruktion ergiebt sich eine am Fuss und Scheitel etwa gleich gekrümmte kugelähnliche Fläche. Die Mantel- oder Leibungsfläche einer jeden einzelnen Schicht hat im zweiten Falle annähernd die Gestalt eines schräg steigenden Cylinders (Fig. 312a). Es stellt sich eine Schicht nach Fig. 312 dar. Würde man genau hergestellte Werksteine verwenden, so entstände beim ersten Verfahren eine einfachere Form (Fig. 307), beim zweiten die unbequemere Form Fig. 313. Der Werkstein 307 hat nur zwei gekrümmte Flächen, nämlich die Leibungen, die Lager- und Stossflächen sind eben; der Werkstein 313 hat nur ebene Stossflächen, während Leibungen und Lager gebogen sind. Wenngleich keine genau zugerichteten Steine verwendet zu werden pflegen, wird die letztere kompliziertere Form sich auch beim Bruchsteine und selbst dem Ziegelsteine immer noch in der Schwierigkeit aussprechen, dem Steine seine richtige Lage anzuweisen.

2. Horizontallaufende Kappenschichten.

2. Horizontal laufende Kappenschichten treten besonders auf an den freihändig aufgeführten Gewölben. Die parallel mit dem First laufenden Schichten haben den Mangel, dass die recht langen Scheitelschichten ein freihändiges Mauern etwas erschweren. Günstiger sind schräg laufende Schichten, wie sie der Grundriss 298 III zeigt, sie können eine verschiedene Richtung erhalten. Besondere Beachtung erfordert die Lage, welche sich bildet, wenn alle Schichten horizontal laufen, oder richtiger wenn bei jeder Schicht die Endpunkte in gleicher Höhe liegen. Auf gewöhnliche Kreuzgewölbe ohne Überhöhung hat diese Änderung gar keinen Einfluss, da die Schichten dem Scheitel bei horizontaler Lage gleichlaufend sind (siehe 298 Kappe I), bei geringer Überhöhung ist auch kein grosser Vorteil erreicht, (Kappe II), die Schichten sind oben nur wenig kürzer, verlangen aber in der Scheitellinie OG eine lästige spitzwinkelige Verschränkung. Erst bei starker Überhöhung werden die horizontalen Schichten für ein einfaches Kreuzgewölbe günstiger, die Verschränkung wird mehr rechtwinkelig, III in Fig. 288. Es lässt sich sogar eine Verschränkung nach Kappe IV ganz vermeiden, wie es die Gewölbe zu Riga — Fig. 299 zeigen. Trotzdem hier Schild und Gratbogen spitz

314.

sind, ist keine Scheitelkante vorhanden, die Schichten laufen gleich den horizontalen Ringen einer Kuppel in stetiger Krümmung über den Scheitel fort, eine Anordnung, die beim Fehlen der Scheitelrippe als besonders günstig zu bezeichnen und auch für Neuausführungen stark überhöhter Gewölbe sehr zu empfehlen ist. Ist die Busung mässig, so werden die Ringe etwa konzentrisch um die Wölbmitte laufen, ist dieselbe aber sehr hoch gezogen, so wird man in der Nähe ihres Wipfels von der horizontalen Schichtführung etwas abweichen können, wie es die Rigaer Gewölbe bereits zeigen.

Die Überhöhung der norddeutschen Ziegelgewölbe ist oft ganz überraschend gross, Fig. 295 IV zeigt eine Aufsicht auf die Gewölbe des Domes zu Lübeck.

Noch mehr als für die einfachen Kreuzgewölbe haben die Horizontalschichten Wert für die reichen Fächer und Netzgewölbe, besonders wenn deren Bogen sämtlich mit gleichem Halbmesser geschlagen sind. In diesem Falle stehen im Grundrisse die Schichten senkrecht zu der Winkelhalbierenden; im Grundrisse und Aufrisse ergiebt sich eine gleich regelmässige Bildung (vergl. 314), weshalb diese Schichtenlage für derartige Wölbformen allgemein üblich wurde.

Bei der meist geringen Entfernung zwischen den Rippen der Fächergewölbe können selbst Kappen ohne busige Schichten freihändig eingemauert werden. Die unteren Schichten liegen bei ihrer geringen Neigung sicher aufeinander, die oberen nehmen immer mehr die Eigenschaft von scheitrechten Bogen an. Sind die oberen Schichten sehr kurz, so werden sie sich zuverlässig zwischen den Rippen halten, werden sie aber länger, so empfiehlt es sich, von Zeit zu Zeit eine unterstützende Latte unter einer Schicht zu lassen, bis das Feld geschlossen ist. Solche Latten verringern einstweilen den Schub und können im Notfall als Spreizen wirken, wenn der vor Wölbschluss bedeutende Schub der scheitrechten Schichten sich nicht genügend im Gleichgewichte halten sollte. Die letzten Schichten sind recht fest zwischen die vorhergehenden einzusetzen, so dass sie auf alle anderen Schichten eine seitliche Verspannung übertragen können. Werden nun die unterstützenden Latten und die Lehrbogen unter den Rippen fortgenommen, so werden, falls der Mörtel noch eine geringe Dehnbarkeit besitzt, die Druckspannungen sich umsetzen, die Wirkung der scheitrechten Bogen tritt mehr zurück, dafür verspannt sich die Kappe von Schicht zu Schicht. Sie hat die Form eines Ausschnittes aus einem Tonnengewölbe und wirkt auch dem entsprechend. Ein geringes Durchschlagen der scheitrechten Schicht nach unten ist zu erwarten.

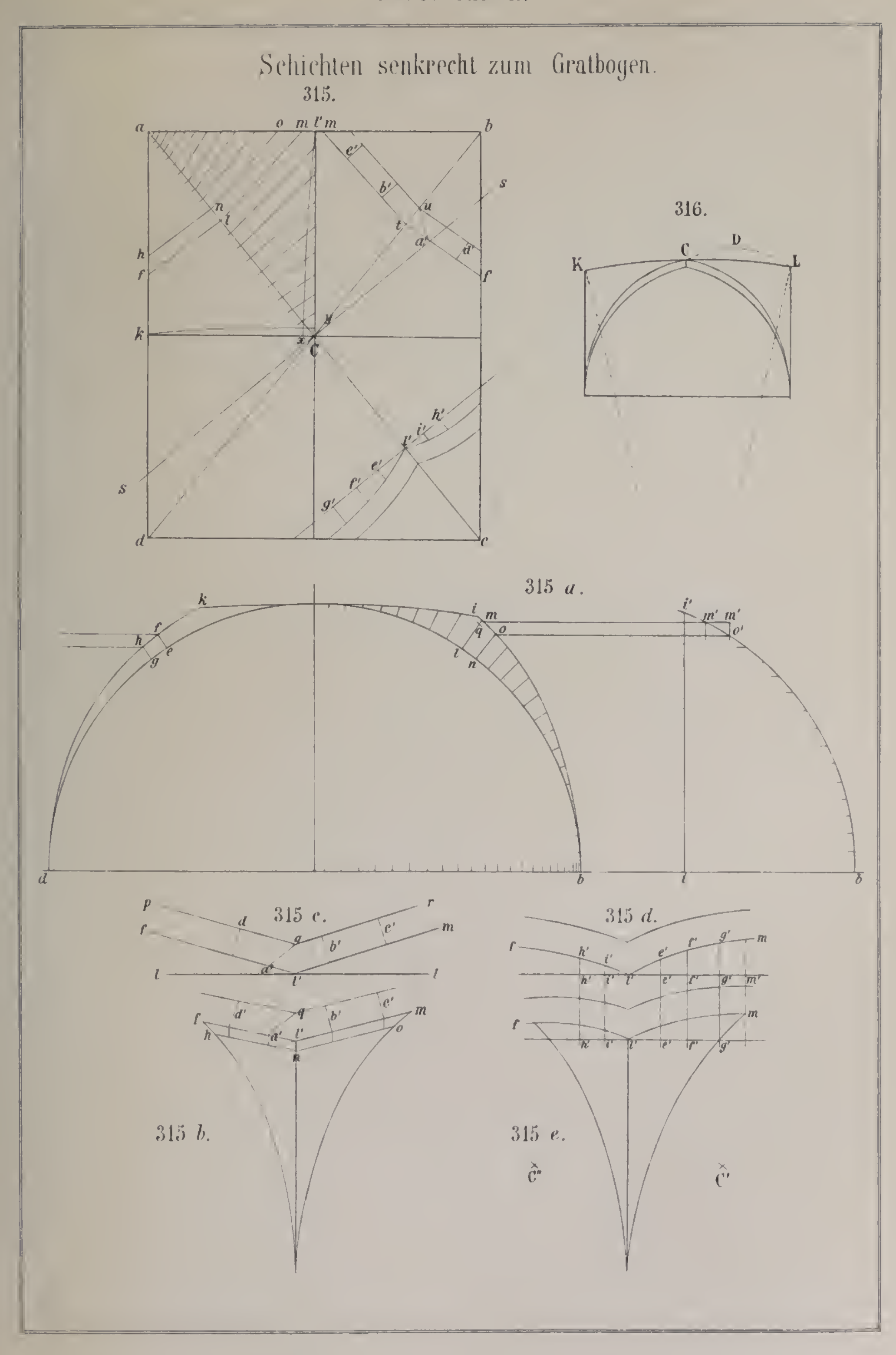
Natürlich haben auch hier busige Schichten ihre Vorzüge vor allen Dingen in den oberen Teilen der Kappen, sie bewirken eine andere Druckübertragung auf die Rippen, verringern aber ganz besonders während des Einwölbens den soeben besprochenen Seitenschub der Einzelschichten gegen die Rippen. Für eine saubere Ausführung wird auch hier der ausziehbare Lehrbogen gute Dienste leisten können, meist wird man aber von seiner Verwendung absehen und die Schichten völlig frei hinsetzen.

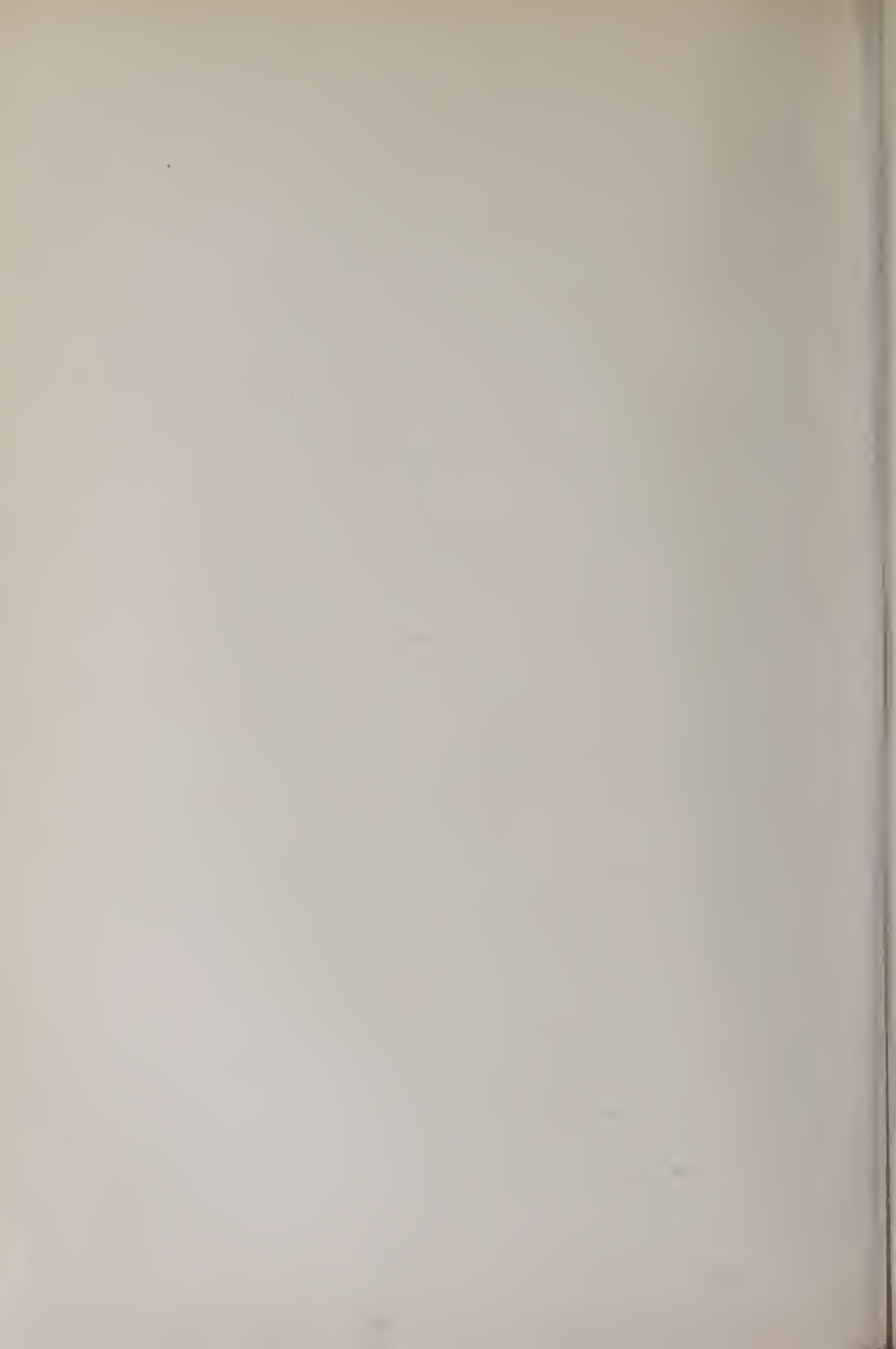
3. Schichten senkrecht zum Kreuzgrate.

3. Schichten, deren Fugenebene senkrecht zum Diagonalbogen steht (Fig. 315), sind für gewöhnliche quadratische oder nahezu quadratische Gewölbe günstig. Sie haben für die Ausführung den doppelten Vorteil, dass ihre Lagerfugen in einer Ebene über den Graten fortlaufen und dass sie sich in dem Scheitel unter 90 Grad verschränken, letzteres allerdings nur bei quadratischen Feldern. Die Ebene der Fugen steht senkrecht zu der Vertikalebene des Kreuzgrates und geht durch den Mittelpunkt des letzteren. Im Diagonalschnitte (Fig. 315a) erscheint daher die Fugenebene als eine gerade radial gerichtete Linie. Die einzelne Schicht kann geradlinig sein oder busig.

In Deutschland ist diese Schichtlage in der letzten Zeit ziemlich verbreitet gewesen, wir wollen daher in Fig. 315 bis 316 die graphische Darstellung der-

Tafel XXXIII.





selben zeigen. Obwohl die Ausführung nicht nach einer derartigen Zeichnung, sondern nach dem Auge eines geübten Maurers geschieht und daher immer einige Abweichungen und Unregelmässigkeiten zeigt, so folgt sie doch dem daraus ersichtlichen Prinzipe.

In Fig. 315 ist der Grundriss eines rippenlosen rechteckigen Kreuzgewölbes, in Fig. 315a der Diagonalschnitt gezeichnet, der den hier halbkreisförmigen Kreuzgrat in wirklicher Ansicht, die beiden Stirnbogen aber in Projektion zeigt, die wirkliche Gestalt einer Stirnbogenhälfte ist seitwärts angegeben. Fig. 316 stellt den Querschnitt in kleinerem Massstabe dar, die Scheitelpunkte der Seitenbogen K und L können gleiche oder verschiedene Höhenlage mit dem Schlusspunkte C haben, die verbindenden Scheitellinien KC und CL können geradlinig oder gebust sein. Liegt die Wölbmitte höher als die Stirnbogenscheitel, so legt man am einfachsten durch die drei Punkte KCL ein Kreisstück als Firstlinie. Bei sehr stark busigen Schichten nimmt man auch die Scheitellinie stärker busig an (siehe CDL), damit sie die Last der hier zu einem Grate zusammenschneidenden Schichten sicher übertragen kann. Bei entsprechenden Verhältnissen zwischen Busung und Überhöhung kann die Scheitellinie als Grat oder Kehle stärker hervortreten. In solchen Fällen ist die Verwendung einer besonderen Scheitelrippe unter Umständen für die Ausführung bequem und aus statischen Gründen geboten, sie verdankt ihre Entstehung überhaupt der Anwendung von Schrägschichten.

Handelt es sich darum, die Wölbfugen zu zeichnen, so wird auf dem Diagonalbogen die Schichtenteilung vorgenommen (z. B. nach Ziegelschichten), durch die Teilpunkte l, n usw. werden Radien nach dem Mittelpunkte gelegt. Die Verlängerung lm und no dieser Radien bezeichnet die Ansicht der Fugen, die auch, wenn sie busig sind, als gerade Linien erscheinen. Die Teilpunkte auf dem nebengezeichneten (wirklichen) Schildbogen sind leicht durch wagerechtes Hinüberziehen der Punkte $m\,o$ usw. nach $m_1\,o_1$ zu finden.

Die Teilpunkte der beiden Bogen können leicht in den Grundriss getragen werden (siehe n, $o\,m$ usw. in Fig. 315). Werden nun je zwei entsprechende Punkte verbunden, so entstehen die Grundrisse der Fugen lm, no usw. Sind die Fugen in Wirklichkeit gerade Linien, so sind sie es auch im Grundrisse, sind sie gebust, so werden sie auch im Grundrisse eine schwache Krümmung erhalten, die man durch Projektion einzelner Punkte ermitteln kann. Das Einzeichnen solcher gekrümmter Fugen soll nicht weiter behandelt werden, da es auf einfache Aufgaben der darstellenden Geometrie hinausläuft und für die Praxis wertlos ist.

Wenn erforderlich, so lässt sich auch unschwer die Projektion des Gewölbeanfanges auf eine Ebene senkrecht zur Diagonale zeichnen, was in Fig. 315b geschehen ist. Aus dieser findet man den niedergeschlagenen Grundriss einer Schicht Fig. 315c, welcher den Winkel an dem Grate zeigt und das Einzeichnen der Stossfugen gestattet. Sind die Schichten busig, so wird die Krümmung in diesen niedergeschlagenen Grundriss eingetragen, Fig. 315d, von hier kann sie in die Ansicht 315e zurückprojiziert werden.

Ganz in derselben Weise würde sich der Verlauf der Lager und Stossfugen in einem Kreuzgewölbe mit Rippen finden lassen, wobei nur statt der Gratkante die beiden Aufsatzlinien der Rippen zu Grunde zu legen wären.

Für die praktische Ausführung sind, falls nicht zugerichtete Werksteine in Frage kommen, derartige Projektionen der Schichten meist überflüssig. Wenn die Lehrbogen für die Grat- und Scheitelkanten aufgestellt, oder bei Rippengewölben die Rippen eingewölbt sind, so braucht man einem bewanderten Maurer nur anzugeben, dass die Schichten senkrecht zum Kreuzbogen laufen sollen und ihm ausserdem mitzuteilen, ob und nach welchem Stiche oder Halbmesser die Schichten gebust werden sollen, er wird dann imstande sein, die Kappen richtig einzuwölben. Gebuste Schichten sind natürlich dem freihändigen Mauern immer viel günstiger als gerade.

Ungleiche Breite der Schicht.

Die Figuren 315 und 315a zeigen, wie die Fugenlinien in Grund- und Aufriss vom Diagonalbogen aus divergieren, mithin die einzelnen Schichten nach dem Schildbogen und der Scheitellinie zu an Stärke zunehmen. Bei kleineren Spannungen des Gewölbes ist diese Zunahme indes nicht bedeutend und lässt sich in der Praxis gewinnen, teils indem man die einzelnen Ziegel, die niemals eine völlig gleiche Stärke haben, nach ihrer Stärke sortiert, teils aber auch durch eine blosse Verstärkung der Mörtelfugen nach den Gurtbogen zu. Wird der Breitenunterschied grösser, so kann man in einzelnen Schichten die Steine nach dem einen Ende zu etwas dünner hauen, oder es kann ab und zu eine keilförmige Schicht eingeschaltet werden. Das Zuhauen der Steine muss aber sehr sauber ausgeführt werden, ein durchgängiges Hauen meidet man bei Gewölben mit Rücksicht auf die Festigkeit lieber ganz.

Wird bei ausgedehntem Gewölbe die Breitenverschiedenheit in den einzelnen Schichten so gross, dass sie sich mit den gewöhnlichen Mitteln beim Mauern nicht mehr ausgleichen lässt, dann geht man besser von der konsequenten Durchführung der Fugenlage senkrecht zum Grate ab. Es können zwei nachstehend unter 4 und 5 noch aufzuführende Abarten der vorgeschriebenen Konstruktion gewählt werden.

Es ist aber durchaus nicht gesagt, dass sich „stets“ die Schichten vom Kreuzgrate nach dem Schildbogen verbreitern, es kann sogar der umgekehrte Fall eintreten. Wenn der Schlussstein sehr hoch, die Spitze des Schildbogens aber sehr tief liegt, so kann die Projektion der letzteren in Fig. 317 nach dem Punkte n_1, statt nach n fallen, d. h. sie kann unterhalb des Kreuzgrates liegen. Das würde aber, wie ein weiterer Verfolg der Zeichnung bald ausweist, zu Schichten führen, die gerade entgegengesetzt sich vom Grate nach dem Schildbogen verschmälern.

4. Geneigte Parallelschichten.

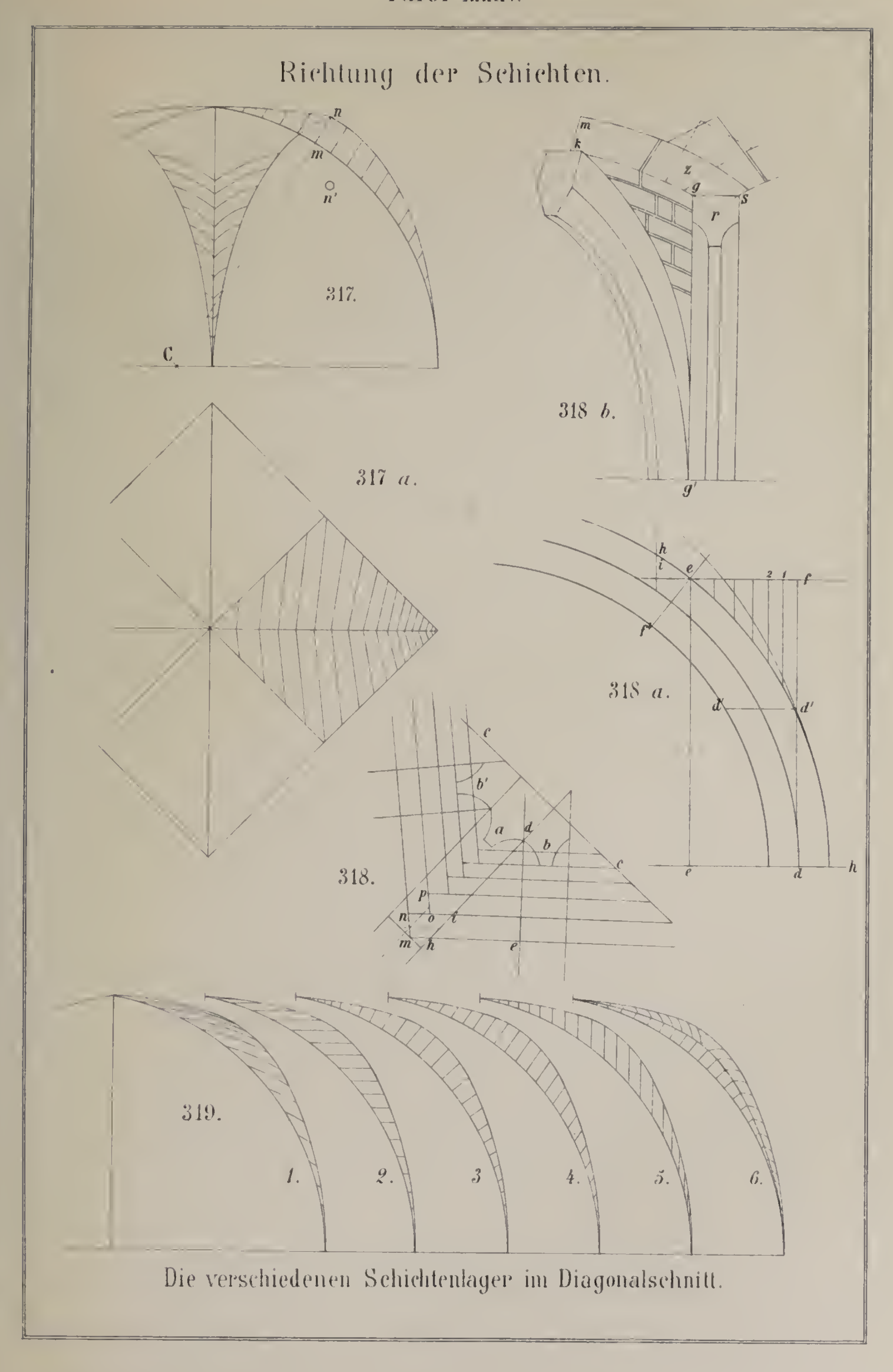
4. Nur die längste Schicht liegt in einer Ebene senkrecht zum Gratbogen, die übrigen Schichten laufen in parallelen Ebenen. Im Diagonalschnitt Fig. 317 legt man die längste Fuge mn radial nach dem Zirkelpunkte C. Auf dem Kreuzbogen teilt man dann die Schichtbreiten auf und legt durch die Teilpunkte parallele Linien zu mn. Damit ist die Projektion der Schichten ermittelt, die man in den Grundriss oder andere Ansichten übertragen kann. Die unteren Schichten steigen von der Diagonale zum Schildbogen schräg an. Wenn man die Stärke der Steigung dem Maurer für die unteren Schichten angiebt, so wird beim gleichmässigen Weitermauern schon von selbst für die langen Schichten etwa die gewünschte Richtung entstehen. Für einfache Fälle wird man ein Austragen der Fugenrichtung nach der Zeichnung nicht nötig haben, man lässt nach ungefährer Schätzung die unteren Schichten etwas schräg vom Kreuzgrate aus steigen und mauert die Kappe mit gleich breiten Schichten bis zur Mitte auf, den Schichten giebt man eine angemessene Busung.

5. Senkrecht stehende Parallelschichten.

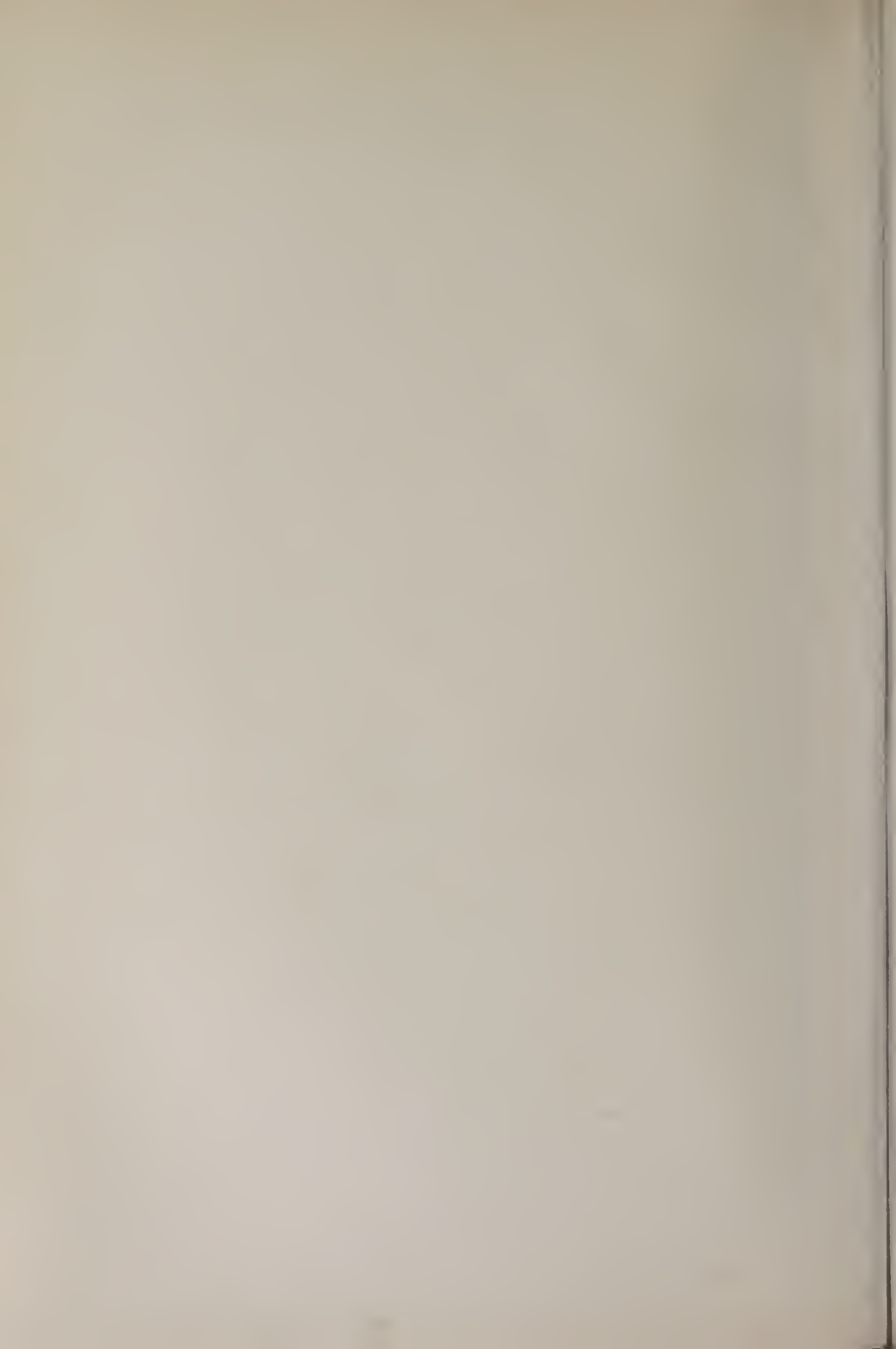
5. Alle Schichten sind im „Grundrisse“ einander parallel und senkrecht zur Diagonale gerichtet. Im Diagonalschnitte liegt keine der Fugen mehr radial, vielmehr stellen sich dieselben sämtlich als parallele senkrechte Linien dar. In den Figuren 318 bis 318b ist diese Schichtenlage gezeichnet, auf deren nähere Erklärung verzichtet werden kann.

Man wird auch bei dieser Schichtenrichtung jeder Schicht eine Busung geben. Eine geringe Busung würde selbst dann entstehen, wenn jede horizontale Linie auf der Kappe eine gerade sein sollte, beispielsweise bei einem Einwölben auf horizontalen Schalbrettern.

Tafel XXXIV.



Die verschiedenen Schichtenlager im Diagonalschnitt.



Wollte man die Kappenschichten gerade machen, was immerhin ausführbar wäre, dann würden die horizontalen Linien auf der Kappe eine kleine, unschöne Krümmung nach innen aufweisen. Bei Verwendung von Kappen mit einer stärkeren Busung würde diese am besten senkrecht nach oben abgesetzt, wobei nach dem von VIOLLET-LE-DUC empfohlenen Verfahren ein senkrecht gestellter verschieblicher Lehrbogen benutzt werden könnte.

Zusammenstellung der Schichtlagen.

Es sind im vorstehenden fünf verschiedene Schichtenanordnungen beschrieben, die sämtlich ihre Berechtigung haben. Um die Unterschiede der fünf Konstruktionen klar hervortreten zu lassen, sind sie in Fig. 319 im Diagonalschnitte vergleichsweise nebeneinander gestellt, 1. zeigt Schichten fortlaufend mit dem Kappenfirste, 2. Horizontalschichten, 3. Radialschichten senkrecht zum Grate, 4. Parallelschichten in schräger und 5. solche in senkrechter Richtung. Der Vollständigkeit wegen ist noch eine Anordnung 6 beigefügt, bei der die Schichten senkrecht zum Grate, zum Gurte und zum Firste liegen und sich in der Mitte der Kappe zusammenschneiden bezw. verschränken.

Welche Schichtenlage zu wählen ist, wird von Fall zu Fall zu entscheiden sein. Für das freihändige Wölben möge jedoch die Aufmerksamkeit wieder den neuerdings viel zu sehr vernachlässigten horizontalen Schichten bei kräftiger Busung zugelenkt sein.

Zusammenschnitte der Kappenschichten.

Bei Gewölben mit vortretenden Gurt- und Rippenbogen, deren Profile mit einem Rückenansatz in die Kappen einbinden, treten die Schichten überhaupt nicht zusammen, sondern schneiden sich in einfacher Weise gegen den Rücken, (Fig. 320). Die Wölbsteine sind hier so zu behauen, dass sie sich gut anschliessen. Die Richtung der Schichten ist ziemlich gleichgültig, es hat wenig Wert, sie senkrecht gegen die Diagonale zu führen, man hat höchstens den Zusammenschnitt an den Scheitellinien zu beachten, der beim Vorhandensein einer Scheitelrippe aber auch fortfällt.

Anders verhält es sich bei Bogen, deren Profil ohne Rückenansatz sich unter die Kappen legt, hier schneiden die Schichten über den Bogen zusammen, ihre gegenseitige Richtung ist daher von Bedeutung. Liegt die oben besprochene jetzt viel verwendete Lösung vor, bei welcher die Schichten den Diagonalbogen überkreuzen, so geht hier die eine Schicht direkt in die andere über, auf den Gurten findet dagegen eine Verschränkung statt, die bei rechtwinkeligem Schnitte sich regelmässig nach Fig. 321 oder 322 bildet, bei spitzem Schnitte ist ein Verhauen der Steine nötig, während sich bei unsymmetrischem Zusammentreffen nach Fig. 323 ein Versetzen der Verschränkung bildet. Eine Verschränkung erhalten auch die Kappenschichten in den Scheitellinien, wie die perspektivische Ansicht Fig. 325 zeigt.

Verschränkung.

Auf dem Rücken des Diagonalbogens verspannen sich also die zu den verschiedenen Jochen gehörigen beiden Bogen der Kappenschicht einfachsten Falles nach Fig. 324a, es müssen daher die Anfänge beider Bogen eigens zugehauen und hierdurch geschwächt werden. Es ist daher besonders bei grossen Spannungen ratsam, eine Verstärkung des Verbandes an dieser Stelle zu suchen, welche am

leichtesten nach der in der perspektivischen Ansicht Fig. 324 bei *g'* gezeigten Weise bewirkt wird, so dass die beiden Bogen abwechselnd mit einem Läufer *k* schliessen und mit einem Binder *l* anfangen. Auf dem Rücken der Kreuzrippe müssen die einzelnen Ziegel verhauen werden. Es kann dieses Verhauen beschränkt werden, wenn die Rücken der Rippen die in Fig. 324b gezeigte Gestaltung erhalten.

Gerade umgekehrt wird die Verbindung der Schichten, wenn dieselben gleichlaufend mit dem Gewölbscheitel sind, sie werden dann die Gurtbogen überkreuzen und sich auf den Kreuzbogen verschränken; die Scheitelverschränkung fällt ganz fort.

Rippenlose Gewölbe.

Die Ausführung der rippenlosen Gewölbe geschieht in derselben Weise wie diejenige der Rippengewölbe, nur erfordert hier die Herstellung der Gratkanten noch mehr Beachtung. Bei den Bruchsteingewölben des früheren Mittelalters war die Herstellung des Grates immer ein etwas wunder Punkt. Bei sorgfältiger Ausführung verwandte man am Grate mehr oder weniger zugerichtete Werkstücke. Oft begnügte man sich damit, nur einzelne Eckbinder einzuschalten, sonst aber die Steine mit einer Fuge an der Kante zusammentreten zu lassen. Die Vernachlässigung gerade der tragenden Kanten war aber bedenklich, ihre schwere Herstellung trug zum guten Teile zur Einführung der stützenden vorspringenden Rippenbogen bei. Immerhin sind aber im ganzen Mittelalter, besonders in der Profankunst, auch viele rippenlose Gewölbe ausgeführt, wie sie ja auch bei modernen Bauten wieder weitgehende Verwendung finden.

Bei ihnen wird aber die in Fig. 324 gezeigte Verstärkung des Diagonalbogens zur Notwendigkeit. Der Verband wird ebenso bewirkt und unterscheidet sich von dieser Abbildung nur in der Weise, dass das Rippenprofil wegfällt, dagegen an dem Ziegel bei *g'* das weggeschlagene Dreieck sitzen bleibt. Meist behält dieser Ziegel seine rechtwinkelige Gestaltung jedoch nicht, sondern er muss, je näher dem Scheitel des Gewölbes, desto stumpfwinkeliger verhauen werden.

Zellengewölbe.

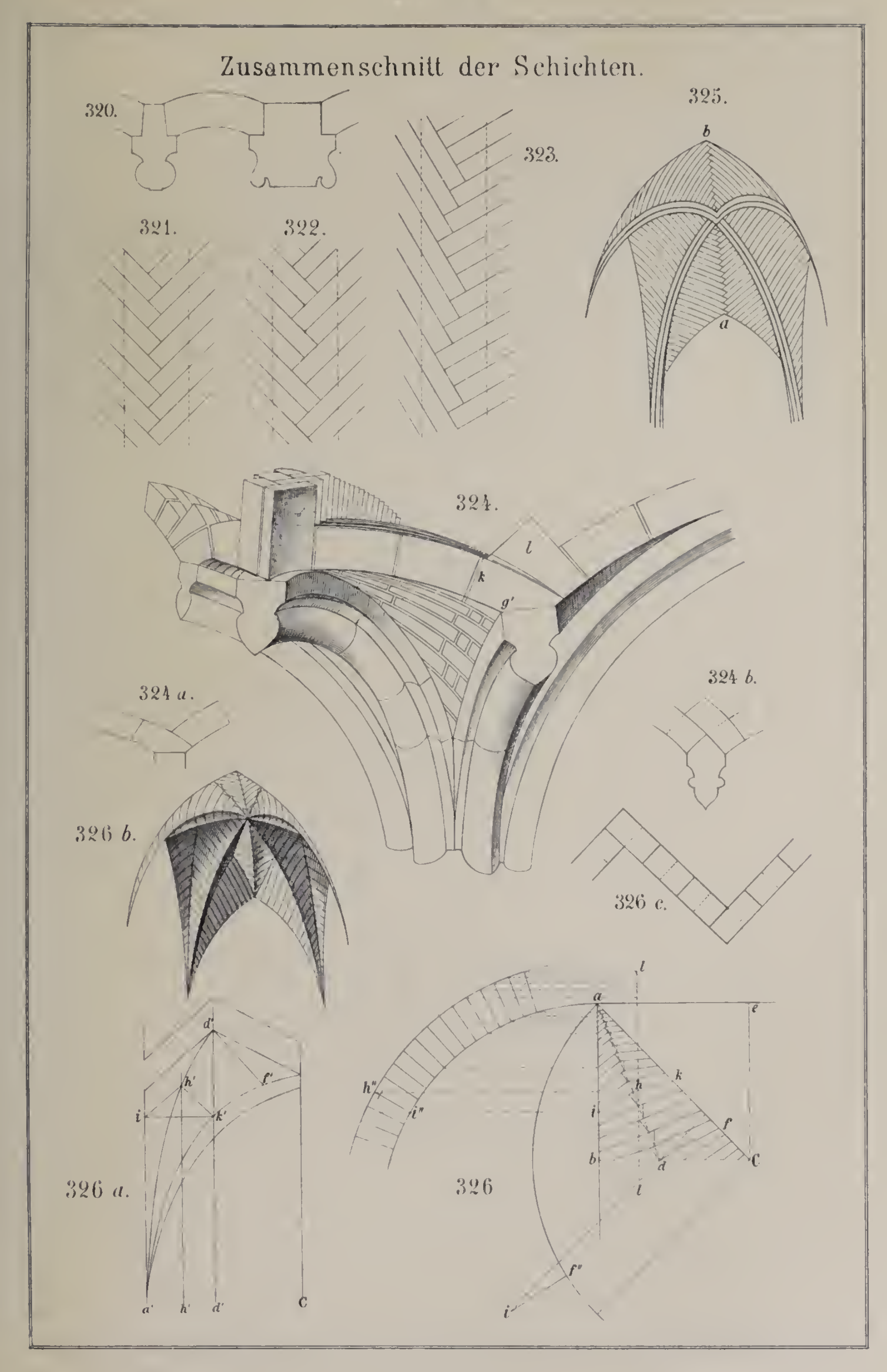
Indes auch dieses Verhauen lässt sich vermeiden, es entstehen hierdurch jene in den Ostseeländern vorzüglich heimischen, in der Regel jedoch nicht nach dem Kreuzgewölbe, sondern nach komplizierteren Systemen angelegten zellenartigen Gewölbe, die so gebildet sind, dass die Gratkante in jedem senkrecht zu ihr geführten Schnitte einen rechten Winkel zeigt. Fig. 326b.

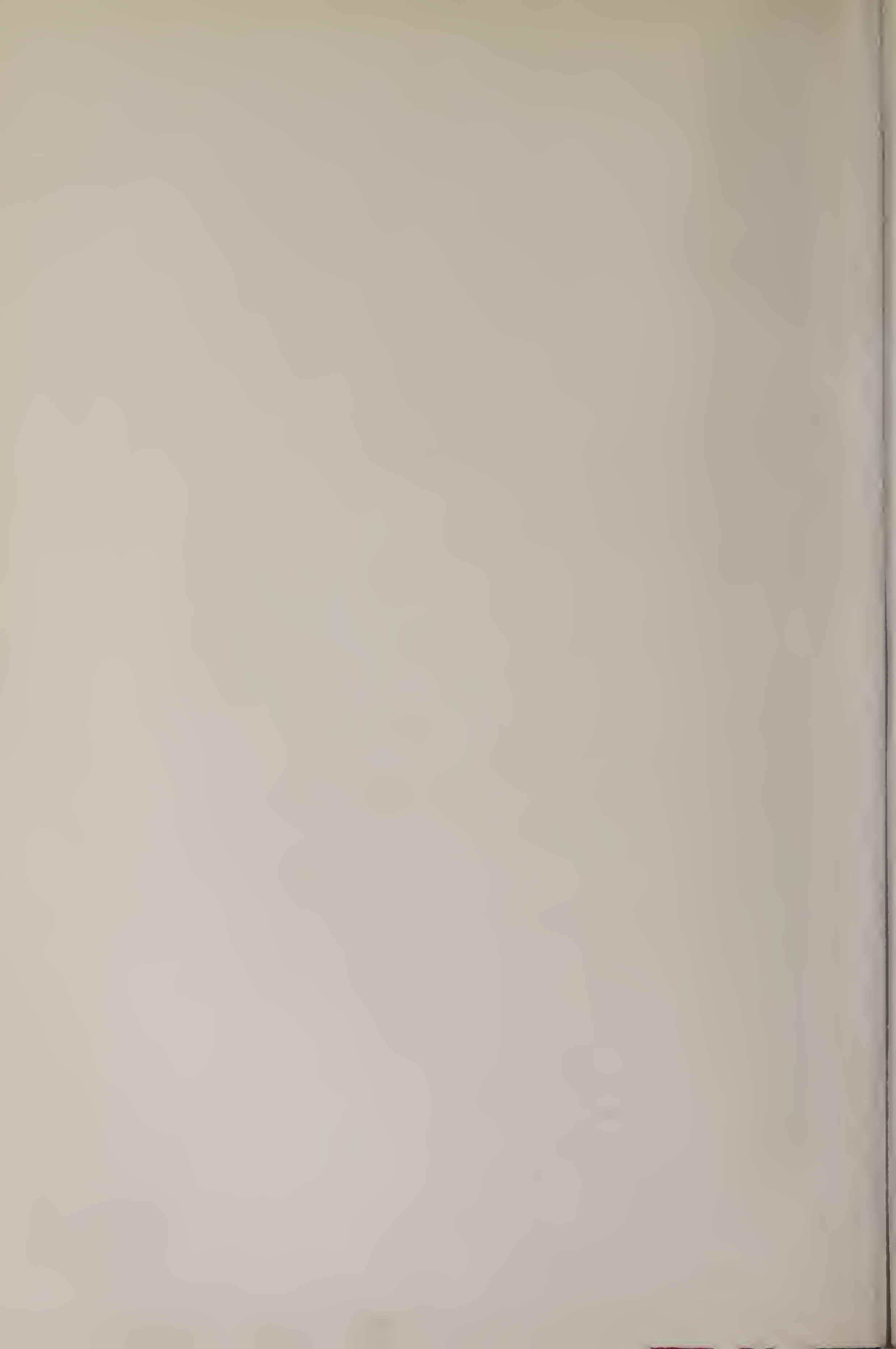
Zwischen den Gratkanten, die meist reiche Stern- oder Netzformen darstellen, erheben sich die Kappen ähnlich kleinen Pyramiden oder hochgezogenen Mulden. Die Lagerfugen liegen in einer senkrecht zum Bogen (radial) gerichteten Ebene und bilden an der Kante einen rechten Winkel, der einen einfachen Steinverband ermöglicht Fig. 326c. Gewöhnlich liegen die Fugen zu einer durch den Grat gelegten senkrechten Ebene symmetrisch, so dass sie jederseits mit dieser Ebene einen Winkel von 45° bilden.

Auf letztere Annahme stützt sich die an Fig. 326 und 326a gezeigte Konstruktion der Fugen. Es ist der Einfachheit wegen ein gewöhnliches Kreuzgewölbe und eine geradlinige Fugenrichtung angenommen, da es sich nur um eine Projektionsaufgabe handelt, welche für die Praxis wenig Bedeutung hat.

Man mache zunächst auf den niedergeschlagenen Bogen eine Einteilung für die darauf zu setzenden Ziegel. Aus den verschiedenen Teilpunkten des Bogens über *a b* ziehe man Radien in beliebiger Länge, schneide diese durch einen konzentrischen Bogen in beliebigem Abstande ab, ziehe die Linie *l l* parallel *a b* in demselben Abstande und projiziere dann die Teilpunkte des

Tafel XXXV.


Zusammenschnitt der Schichten.
320.
321.
322.
323.
325.
b
a
324.
l
k
g'
324 a.
324 b.
326 b.
326 c.
l
a
e
h"
i"
k
h
i
f
b
d
C
326
l
f"
i'
d'
h'
f'
i
k'
326 a.
a'
h'
d'
C



Bogens herab auf $a\,b$, die auf dem konzentrischen durch die Radien abgeschnittenen auf $l\,l$ und verbinde die entsprechend auf $a\,b$ und $l\,l$ gefundenen Punkte miteinander, so sind die Grundrissprojektionen der Fugen eines Kappenteiles gefunden. Ebenso ermitteln sie sich für den daranstossenden Kappenteil, wodurch sich zugleich die Verschränkungen über $a\,d$ ergeben.

Die Fig. 326a zeigt dann den Durchschnitt zu Fig. 326. Es handelt sich nun darum, in diesem Durchschnitte die Höhe des Punktes d, sowie die Lage der Fuge $d\,f$ zu bestimmen. Der Punkt f liegt im Durchschnitte in f' und entspricht dem Punkte f'' des Diagonalbogens in Fig. 326. Man lege durch letzteren den Radius und trage darauf den Abstand des Grundrisspunktes d von der Linie $a\,C$ ab als $f''i$. Den Abstand des Punktes d von C trage man in Fig. 326a von C nach d', errichte in letzterem ein Perpendikel und trage darauf die Höhe des Punktes i über $a\,C$ ab, so ist die Höhe des Punktes d und die Lage der Fuge $d\,f$ in $d'f'$ gefunden. Ebenso wird auch die der übrigen Fugen ermittelt, z. B. die der Fuge $i\,h\,k$ als $i'h'k'$. Die ermittelten Fugen bestimmen dann von selbst die Bogenlinien der Kehle und die Verschränkung in derselben.

Über das Austragen eines in Krakau befindlichen Zellengewölbes siehe die Studie von G. Bisanz in der Allgemeinen Bauzeitung, Wien 1888.

Die Fig. 326a zeigt, wie der Punkt d sich hoch über den Scheitel der Diagonalbogen erhebt, mithin ein ansehnlicher Höhenaufwand entsteht. Es wird derselbe verringert, wenn die Kappenfluchten vom Diagonalbogen aus statt nach geraden Linien sich nach Bogenlinien erheben. Ein derartiges Gewölbe unterscheidet sich dann von den oben gezeigten mit flachen Busen versehenen Kreuzgewölben nur noch dadurch, dass das Segment des Busens hier durch einen gebrochenen Spitzbogen ersetzt wird, der auch in einen Viertelkreis übergehen kann.

Wo geringe Konstruktionshöhe vorhanden ist, wird bei irgend beträchtlicher Spannweite indes die Einführung dieser Bogenlinien den Höhenverlust immer noch nicht ausreichend verringern können und nur in einer Verkleinerung der Felder ein wirksames Mittel zu finden sein. Es bedingt sich also hierdurch der Übergang von dem Grundrisse des Kreuzgewölbes zu jenem des Stern- oder Netzgewölbes. Aber selbst mit Beibehaltung des Kreuzgewölbes lassen sich, wie die perspektivische Ansicht Fig. 326b zeigt, die Felder verkleinern und die Höhen verringern, sobald auch die Scheitellinie als Gratbogen sich gestaltet, der dann ebenso gemauert ist, wie die übrigen, mithin durch eine rechtwinkelige Kante gebildet wird, wobei sich die ganze Grundfläche nunmehr in 8 Felder zerlegt.

Die Bevorzugung kleiner Kappenteilungen erklärt sich auch daraus, dass bei grossen Kappen die Fugen zu sehr divergieren würden. Wo stärkere Gurtbogen nicht aus statischen Rücksichten gefordert werden, können ohne Schwierigkeit bei den Zellengewölben auch die Gurte durch Grate gebildet werden, in denen die Kappen regelrecht aneinander schneiden.

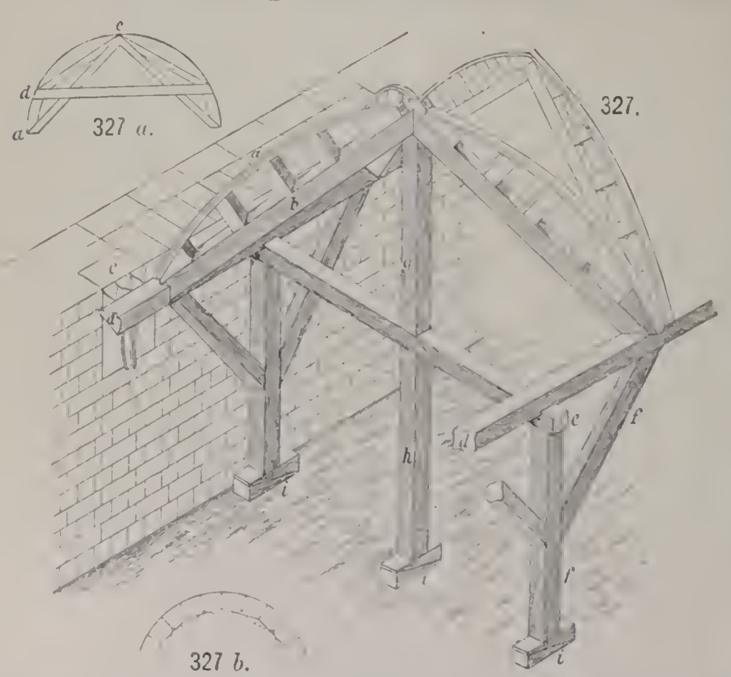
10. Lehrbogen und Ausführung.

Lehrbogen nennt man die gezimmerten Gebinde, deren Rücken bestimmt ist, die Gewölbebogen während der Ausführung zu tragen. Die einfachen Lehrgerüste fertigt sich der Maurer selbst an, kleine Bogen schneidet er aus einem breiten Brett oder einer mit Leisten benagelten aus mehreren Brettern zusammengesetzten Tafel aus. Für die grösseren Bogen giebt es sehr verschiedene Ausführungsarten, von denen hier nur einige der gebräuchlichsten kurz angegeben werden sollen.

Herrichtung der Lehrbogen.

1. Die Lehrbogen können nach Art eines Dachstuhlgebälkes durch ein Sparrenpaar, eine dasselbe verbindende Zange und die sich von den Sparren an die Zange setzenden Aufschieblinge *a d* und *d c* in Fig. 327a gebildet werden, an deren Rücken die Kurve entweder angeschnitten oder aufgefüttert wird. Einfacher ist die in Oberhessen gebräuchliche Konstruktion, welche die Fig. 327 zeigt, wonach auf die Sparren kurze Hölzer *a b* von verschiedener, jedesmal den Ordinaten des Bogens entsprechender Länge aufgenagelt oder aufgezapft sind. Diese Hölzer werden nach der Bogenlinie genau abgeschnitten und dann mit einer aufgenagelten Latte überspannt, auf deren Rücken die Rippen hingemauert oder versetzt werden. Wenn die Spannung der Bogen über etwa 8 m hinausgeht, so müssen die Sparren weiter verbunden werden durch eine zweite Zange, oder bei noch grösseren Weiten durch einen Mittelpfosten, eine Zange und zwei Streben.

2. Es können die Lehrbogen auch nach Art der Bohlenbogen aus doppelt oder je nach der Weite dreifach zusammengenagelten Brettstücken bestehen, deren Rücken die erforderliche Kurve angeschnitten ist, Fig. 327b. Bei solchen Bogen streben unter starker Last die unteren Enden (trotz gegenteiliger Annahmen) immer danach, sich in einem gewissen Grade voneinander zu entfernen. Dadurch kann ein unter Umständen erwünschtes elastisches Setzen der Mitte beim Einwölben hervorgerufen werden. Will man aber ein festes Lehrgerüst haben, so sind die unteren Enden durch starke Zuglatten zu halten, ausserdem empfiehlt sich eine genügende Abspreizung, um seitliche Ausbauchung zu verhindern.



Welche Konstruktion die vorteilhaftere ist, darüber müssen die Umstände entscheiden. Ist an der letzteren der Wert des Materials ein geringerer, so steigen dagegen die Kosten des Arbeitslohnes, und die vernagelten Bretter sind nachher nur noch zu den untergeordnetsten Zwecken brauchbar, während das nach Fig. 327 verzimmerte Holz immer noch leicht wieder verwendet werden kann.

Aufstellen der Lehrbogen.

Das Aufstellen der Lehrbogen geschieht erst, wenn das Gewölbe geschlossen werden soll, also nach Aufführung der Mauern. Da wo die Rippen-

anfänge bis auf eine gewisse Höhe zugleich mit der Mauer heraufgenommen oder aber, wenn sie aus einem oder mehreren Werkstücken bestehen, versetzt werden, bedarf man der Lehrbogen nur von der oberen Lagerfuge dieses der Mauer eingebundenen Rippenanfanges, also von *c* in Fig. 327 an. Wo ferner die Schildbogen und die Gurtbogen, wenn sie oberes Mauerwerk zu tragen haben, gleichfalls bereits mit der Mauer aufgeführt werden, bedarf man bei dem eigentlichen Gewölbe der Lehrbogen nur für die Kreuzbogen und diejenigen Bogen überhaupt, die in ausschliesslicher Beziehung zum Gewölbe stehen. Die Aufstellung geschieht auf an der Basis durchlaufenden Pfetten *d*, welche von den darunter liegenden Querbalken *e* nach der Breite zusammengeankert werden. Diese Balken werden von Ständern *f* getragen, von denen aus Kopfbänder *f* die Pfetten *d* unterstützen können. Die Querbalken können unter den Mittellinien der Joche angebracht werden, damit die Kreuzlehrbogen mit ihrem oberen Ende sich in einen auf diesen Balken stehenden Ständer *g* setzen können, der wieder von einem auf dem Boden aufstehenden Stiele *h* getragen wird.

Sämtliche Ständer sind, wie Fig. 327 bei *i i* zeigt, unterkeilt, damit beim Ausrüsten nur die Keile herausgeschlagen zu werden brauchen, um die Lehrbogen sich senken zu lassen und so jede Erschütterung des frisch gemauerten Gewölbes zu vermeiden.

Ausser durch die in Fig. 327a angegebenen, in Fig. 327 aber weggelassenen Zangen können die einzelnen Gebinde noch weiter verbunden werden durch pfettenartige Längenhölzer, welche mit Ausschnitten für die Sparren versehen sind, und die etwa durch Bänder nach den Ständern *g* oder den Balken *e* zu stützen sind.

Für die häufig unter die Rippenflucht herabreichenden Schlusssteine muss der nötige Platz gelassen werden. Bei der Konstruktion von Fig. 327 kann die Auffütterung entsprechend oben ausgespart werden, während Bohlenbogen oben entsprechend auszuschneiden sind. Wird dadurch die Spitze der letzteren zu sehr geschwächt, so kann man etwas tiefer verstärkende Querbohlen annageln.

Anders konstruiert sich das Lehrgerüst bei Anwendung eines feststehenden Mönches. Da wo in Fig. 327 die Mittelstützen *g* (bezw. *h*) auf Keile gesetzt sind, wird ein „durchgehender“ fest aufgestützter und verspreizter Stiel, der „Mönch“, aufgerichtet. Derselbe reicht nicht ganz bis unter den Schlussstein, damit sich dieser nicht beim Ausrüsten auf ihm aufhängen kann. Die Lehrbogen laufen oben nicht durch, sondern bestehen für jeden Rippenast aus einem besonderen Lehrsparren, dessen oberes Ende so befestigt sein muss, dass es beim Ausrüsten an dem Mönche herabgleiten kann. Je zwei gegenüberliegende Sparren können oben und unten durch ein Paar den Mönch umfassender Zangen verbunden werden. Die unteren Sparrenenden werden am einfachsten direkt auf Keile gesetzt, während die Unterrüstung, also die Holme *d* nebst deren Stielen, fest aufgebaut wird und sich gut mit zur Unterstützung des Maurergerüstes benutzen lässt.

Besser als Keile, die selbst bei vorsichtigem Ausrüsten leicht Erschütterungen geben, sind hier wie bei anderen Lehrgerüsten untergebrachte Sandtöpfe oder Sandsäcke, die bei dem entsprechend zu regelnden Sandabflusse ein gleichmässiges ruhiges Senken der Gerüste ermöglichen.

Das Einwölben wird neuerdings erst vorgenommen, nachdem das Gebäude unter Dach gebracht ist, nur die Anfänge pflegt man schon früher gleichzeitig mit den Mauern aufzuführen. Bestehen dieselben aus vorher ausgetragenen Werkstücken, so verursacht ihre Aufführung keine Umstände. Bei Anfängen aus Ziegelstein werden entsprechende Lehrbogenstücke vorher hingesetzt, nicht zur Unterstützung, sondern als Lehre. Unter Umständen kann es sich empfehlen, gleich die endgültigen Lehrgerüste aufzustellen, die bis zum späteren Einwölben am Platze bleiben.

Wenn Anfänge aus irgend einem Grunde nicht anfangs mit hochgenommen sind, so würde es bedenklich sein, dieselben später ohne namhaften Verband von einer geringen Basis aus der glatten Mauer vorzublenden. Es muss dann vielmehr oberhalb des Schildbogens ein Rücksprung der Mauer (s. Fig. 255a) oder mindestens für den Wölbanfang eine entsprechend grosse Aussparung im Mauerwerk hergestellt sein. Ähnliches gilt für die nachträgliche Einfügung von Kreuzgewölben in alte Gebäude.

Einwölben der Rippen.

Es sind bei der Ausführung bei Ziegelstein mindestens drei, bei Bruchstein noch mehr (wenn möglich alle) benachbarten Felder gleichzeitig einzurüsten, die Wölbung der Felder ist in stetiger Abstufung zugleich zu fördern, das Gerüst eines fertigen Feldes wird wieder für ein zu beginnendes verwendet. Nach erfolgter Einrüstung handelt es sich zunächst um die Aufführung der Rippen. Bestehen sie aus Werkstein, so wird zunächst der Schlussstein oben in seine richtige Lage durch Abloten gebracht, er ruht am besten mit seinen Rippenansätzen auf den entsprechenden Endigungen der Lehrbogen. Damit die Rippe im Grundrisse geradlinig wird, spannt man mitten über ihr eine Schnur aus und lotet von dieser so viel Punkte herab, dass man auf dem Rücken des Lehrbogens die Mittellinie genau aufreissen kann. Auch empfiehlt es sich, an einer Seite der Rippe eine Schnur auszuspannen, die vom Schlusssteine schräg zum Anfang herabläuft. Nach dieser Schnur wird die Seitenfläche der Rippe abgelotet, wobei zugleich darauf Obacht gegeben wird, dass die Rippe nicht seitwärts kantet. Die Werkstücke der Rippe haben eine Länge von $^1/_2$ bis 1 Meter, sie werden mit Zement, Gips oder Blei vergossen oder mit Bleiplatten versetzt, bisweilen werden sie noch besonders durch Dollen oder Dübbel verbunden. Letztere können aus Eisen, besser aber aus Kupfer, Bronze oder Messing sein. Von den letzteren Stoffen genügen Stifte von Fingerlänge und Dicke, gut geeignet dürften auch Messingröhren von 2—3 cm Durchmesser bei 6—9 cm Länge sein. Die Dollen werden jedesmal im oberen Rippenstücke vorher festgegossen und in das untere Werkstück beim Versetzen eingeschoben. Soll der letzte Rippenstein einer Verdollung mit dem Schlusssteine nicht ermangeln, so bedarf es eines kleinen Kunstgriffes; der in der Mitte mit einem Faden umwickelte Dollen wird ganz in den Schlussstein hineingeschoben und nach dem Versetzen der Rippe durch Anziehen des Fadens zur Hälfte herausgezogen.

Rippen aus Ziegelstein können wie die Werksteinrippen zunächst allein eingewölbt werden, meist jedoch wird es vorgezogen, die Ziegelrippen mit den Kappen gleichzeitig hochzunehmen. Selbst bei leichteren Werksteinrippen ist gegen die gleichzeitige Ausführung nichts einzuwenden.

Einwölben der Kappen.

Es sind nun die Kappen nach einer der im vorigen Kapitel angegebenen Schichtlagen freihändig einzuwölben, wobei die einzelnen Kappen gleichmässig fortschreiten, es wird ein steifer Mörtel aus Kalk und einem sehr reinen, scharfen Flusssande verwendet. Bedient sich der Maurer für die busigen Schichten keiner Lehre, so ist ein gutes Augenmass von Wert, entstehende Buckel, die beim Weiterarbeiten leicht zu erkennen sind, müssen noch einmal erneuert werden. In den Scheitellinien, in denen sich die Schichten verschränken, wird meist eine Lehre angebracht. Zum Schluss pflegt einer der Maurer durch die Wölbmitte hindurch zu kriechen und die letzten Schichten von oben einzusetzen. Damit die Kappen eine gleichmässige Gestalt bekommen, ist es nicht ratsam, zu viele Maurer an demselben Gewölbe zu beschäftigen, andrerseits ist es für die Druckverspannung nicht günstig, gar zu viele nächtliche Unterbrechungen eintreten zu lassen; an einem grösseren Gewölbe pflegen acht Maurer gleichzeitig thätig zu sein. Nach Schluss des Gewölbes kann seine obere Laibung mit einem dünnen Kalk- oder Zementbrei übergossen werden, der aber die Fugen nicht aufweichen darf.

Das Lehrgerüst ist unter den Rippen in unveränderter Form während des Zuwölbens der Kappen geblieben. Rippen aus grossen Werksteinen sind bei ihren geringen, fest vergossenen Fugen von vornherein so starr, dass ihr Setzen und Verdrücken kaum der Rede wert ist, es bleibt der Lehrbogen überhaupt nur unter ihnen stehen mit Rücksicht auf die beständige Lastveränderung während des Kappenschlusses, für welche die Rippen natürlich nicht berechnet sind. Nach Fertigstellen der Kappen steht der sofortigen Beseitigung der Lehrbogen bei Werksteinrippen nichts im Wege, man lässt sie jedoch meist noch einige Tage stehen.

Für Ziegelrippen empfiehlt es sich, die Lehrbogen etwas länger zu belassen, es können sonst abgesehen von Zufälligkeiten die Verdrückungen so stark werden, dass sie sich dem Auge bemerkbar machen. Hase empfiehlt je nach dem verwendeten Mörtel mit dem Ausrüsten 4 bis 7 Tage, im nassen Spätherbste selbst bis 14 Tage zu warten.

Es wird oft beobachtet, dass nach teilweisem Einspannen der Kappen eine Bewegung in den Rippen eintritt in der Weise, dass sich deren obere Enden samt dem Schlussstein von der Unterlage abheben. Diese Erscheinung, die besonders bei etwas nachgiebigen Lehrgerüsten eintritt, ist eine natürliche Folge von der anfangs mangelnden Belastung der Mitte, wenn diese zugefügt ist, legt sich der Schlussstein wieder auf. Es sind derartige grössere Bewegungen aber für die Rippen unerwünscht, man sollte sie verhindern. Es kann dies geschehen durch ein behutsames Absteifen des Schlusssteines gegen das Dachgerüst, weit besser aber durch eine Belastung, zu welcher die oben zu den Kappen nötigen Ziegelsteine das natürliche Mittel bieten, dieselben werden direkt auf den Schlussstein oder auf denselben umgebende Bretter gepackt und zwar anfänglich in zunehmender Menge mit dem Höherwachsen der Kappe. Aus gleichen Gründen kann es sich empfehlen, schwere Hintermauerungen in Absätzen einzufügen. Dass die aus statischen Gründen nötigen Hintermauerungen im unteren Teile fest im Verbande mit aufzuführen und in den oberen etwa später nachgefügten Lagen mit Sorgfalt zu mauern, nicht lässig einzuschütten sind, sei auch an dieser Stelle betont. Ein richtiges Abwägen von

Zwickel- und Scheitellast will schon beim Einwölben beachtet sein. Zeigen sich nach dem Ausrüsten Bruchfugen, so mahnen diese gewöhnlich dazu, eine der beiden Lasten zu berichtigen, was nach den in Kapitel 5 (Fig. 124 bis 127) aufgestellten Gesichtspunkten zu erwirken wäre. Schlanke spitzbogige Gewölbe pflegen sich erst so spät von der Widerlagswand zu entfernen, dass sie gar keiner Zwickelausmauerung bedürfen.

Die Schlusssteine der Kirchengewölbe sind oft durchbrochen, sei es zur Ermöglichung eines Luftaustausches oder sei es zum Befestigen von Kronleuchtern, beziehungsweise zum etwaigen Herablassen von Rüstseilen. Zu letzterem Zwecke sind vielfach auch die Kappen von je einigen senkrecht geführten mit Stein oder Metall umschlossenen Röhren durchsetzt, die unten wohl durch vergoldete an Kupfer- oder Messingdrähten hängende Sterne gedeckt sind.

Eine Sicherung der Wölbungen gegen Wasserschäden, die infolge undichter Kirchendächer entstehen können, scheint noch erwähnenswert. Die oberen Kappenflächen sind bei rauhem Bruchsteine glatt abgestrichen, so dass sich das Wasser rasch in den in Zement nach Gefälle gepflasterten Zwickeln sammelt, von deren tiefstem Punkte ein Kanal nach aussen oder eine Röhre durch die Wölbung nach dem Kircheninnern geführt ist. Letztere dürfte am besten als Bleirohr von mindestens 3 cm Lichtweite zu bilden sein und würde unten soweit vorragen, dass ein zulässiges Abtropfen des Wassers gewährleistet wäre. Natürlich ist diese Massnahme nutzlos, sobald die Zwickel mit Vorwissen zum Sammelplatze von Kehricht gemacht werden. Die Alten haben in nachahmungswerter Weise oft ihre Wölbzwickel zur besseren Überwachung zugänglich gemacht, indem sie den Rücken der Rippen in Form einer kleinen Treppe aufmauerten. Die Ablaufröhren der Zwickel aber haben sie recht gross gemacht, sie bestehen sehr oft aus 2 aufeinandergelegten Dachziegeln, die bei ihrer halbrunden Form eine kreisrunde Röhre bilden.

Es ist ziemlich wahrscheinlich, dass man oft in der romanischen Zeit und auch wohl in der Gotik die Gewölbe gleichzeitig mit den Mauern vor Aufbringung des Daches herstellte, wobei die Zwickelentwässerung besondere Bedeutung erlangte. Andrerseits sind in der Zeit der Gotik aber auch schon früher sehr oft die Gewölbe mit Einschluss der Zwickel und Anfänge erst in die sachgemäss angelegten Rücksprünge der Schildbogen (vgl. Fig. 255a) nachträglich eingefügt. In beiden Fällen war das lästige Vermauern der Anfänge und der Gewölbe zu zwei verschiedenen Zeiten umgangen.

II. Form und Stärke der Widerlager.

1. Die allgemeine Gestalt der Widerlager.

Grundriss der Widerlagswände.

Als nächstliegende Widerlagsform für Tonnengewölbe und Kuppel bietet sich die einfache volle Wand, es war daher ganz natürlich, dass man dieselbe zuerst allgemein aufgriff und auch für andere Wölbformen, z. B. das Kreuzgewölbe, beibehielt. Volle Wände erfordern aber bei grosser Wölbweite und Widerlagshöhe eine solche Unmasse von Baustoffen, dass bereits die in diesem Punkte nicht kargen Römer begannen, an ein Sparen zu denken. Zielbewusster tritt die Bewältigung der Masse in der byzantinischen Kunst hervor, zum herrschenden Streben wird sie im Romanischen und ihre Vollendung erreicht sie in gotischer Zeit.

Einfache volle Wand.

Schon für das einfache Tonnengewölbe ist die fortlaufende volle Wand, wenn auch das nächstliegende, so doch längst nicht das vorteilhafteste Widerlager. Der Baustoff lässt sich schon dadurch verringern, dass man in der Mauer grössere Öffnungen ausspart (Fig. 329). Die auf solche Weise gewonnene Masse braucht nur zum Teil zu einer Verbreiterung der Wand benutzt zu werden, um deren ursprüngliche Standfähigkeit wieder herzustellen; denn die Widerlagsfähigkeit einer Wand steht zu ihrer Längenentwicklung nur im einfachen, zu ihrer Dicke aber etwa im quadratischen Verhältnisse. Noch mehr lässt sich erreichen durch Pfeilervorlagen, die eine bedeutende Einschränkung der eigentlichen Mauerdicke gestatten (Fig. 330). Schliesslich kann man die Wand auf ein Minimum von Masse bringen, wenn man sie in Bogenform von Vorlage zu Vorlage spannt (Fig. 331), eine Bildung, die neuerdings häufig für Futtermauern gegen den gleichfalls fortlaufend angreifenden Erddruck verwendet wird. Die Überweisung des gleichmässig verteilten Schubes auf Einzelpfeiler spricht sich in der Bogenform der Wand klar aus, liegt statt ihrer eine gerade Zwischenwand (Fig. 330) vor, so muss diese einem scheitrechten Bogen ähnlich wirken.

Gegliederte Wand.

Einer solchen Massenbekämpfung im Grundrisse kann eine gleiche im Aufrisse beigesellt werden, indem das Mauerwerk nicht in gleicher Stärke hochgeführt, sondern dem Verlaufe des Druckes gemäss verteilt wird.

Somit lassen sich für das Tonnengewölbe an Stelle der vollen Widerlagswand weit günstigere Formen auffinden, die allerdings mehr den Eindruck des Herbeigeholten, nicht des natürlich aus den Eigenschaften der Wölbung Abgeleiteten machen. Anders ist es beim Kreuzgewölbe, dieses giebt die Abwandelungen, wie sie in den Fig. 333 bis 335 dargestellt sind, unmittelbar an die Hand. Der Wölbschub des Kreuzgewölbes wirkt vorwiegend auf einzelne Punkte und verlangt auch an diesen seine Widerlagsmasse. Die dazwischen liegenden Teile können sich darauf beschränken, den Raum abzuschliessen und dürfen, falls sie dieser Aufgabe ermangeln, sogar ganz fehlen. Bei überhöhten Kreuzgewölben muss man allerdings mit einem stärkeren der Wand zufallenden Schubanteile rechnen, derselbe kann von ihr nach unten geleitet werden, oder auch seitwärts auf die Strebepfeiler, wobei wieder der gebogene Grundriss Fig. 335 Vorteile haben könnte. Aber auch unter überhöhten Gewölben kann die Wand sich öffnen, soweit sich der Schub durch genügend kräftige Schildbogen abfangen lässt. Ein solcher Schildbogen würde eine im Grundrisse und Aufrisse gekrümmte Stützlinie enthalten, was bei peinlichstem Verfolge des Druckverlaufes wiederum dazu führen könnte, einen auch im horizontalen Sinne nach Art der Fig. 335 gekrümmten Schildbogen anzuwenden, falls nicht der von aussen wirkende Winddruck dagegen spräche.

Das natürliche Widerlager für das Kreuzgewölbe ist die aufgelöste, nicht die volle Wand. Ist man dennoch zur Anwendung der letzteren veranlasst, so ist zu bedenken, dass der dem Anfänger benachbarte Teil hinausgedrängt werden kann, und das um so mehr, je dünner die Wand ist, man wird daher mit Sicherheit nur ein gewisses Stück der Wandlänge, bei mittlerer Stärke vielleicht die Hälfte, als widerstehende Masse in Rechnung bringen können. Wenn die Mitte der Schildwand durch grosse Thür- oder Fensteröffnungen durchbrochen ist, so fällt dieser Teil von selbst als Widerlager fort, gerade in einem solchen Falle tritt das Kreuzgewölbe gegenüber der Tonne in sein Recht.

Bei einer fortlaufenden Widerlagswand ohne nennenswerte Öffnungen kann sogar das Tonnengewölbe im Vorteile sein, abgesehen von architektonischen Rücksichten, die schon wegen der freieren Wandentfaltung auch dann oft für das Kreuzgewölbe entscheiden werden.

Strebepfeiler aussen oder innen.

Gemeiniglich liegen die stützenden Mauervorlagen oder Strebepfeiler aussen vor der Wand (Fig. 336), es steht aber nichts im Wege, sie zum Teil in das Innere des Raumes zu ziehen (Fig. 337), ja sie können selbst ganz innerhalb liegen (Fig. 338 und 339). In diesem Falle schwingt sich von Vorlage zu Vorlage ein breiter Schildbogen, ein Tonnengewölbe oder auch ein gestrecktes Kreuz- bezw. Sterngewölbe hinüber. Treten die Vorlagen weit in den Raum hinein, so können sie zur Ausbildung kleiner Kapellen Anlass geben, die sich durch Öffnungen miteinander verbinden lassen. Schliesslich können sie bei weitergehender Durchbrechung in den Charakter schmaler Seitenschiffe überleiten.

Wie später dargethan wird, ist es vorteilhaft, die lastenden Massen der Widerlager möglichst nach innen zu schieben, in dieser Beziehung ist die nach aussen gerückte Umfassungswand weniger günstig. Nützlich kann sie sich insofern erweisen, als sie eine erwünschte Verbreiterung der Grundfläche des Strebepfeilers an dessen Aussenkante herbeiführt. Empfehlen wird es sich bei aussen liegender Wand, die Oberlasten weniger ihr, als den inneren Strebekörpern zuzuleiten,

soweit dieses bei Lage der Verhältnisse thunlich ist. Es lässt sich unter Umständen ein förmliches Strebesystem in das Innere der Kirche verlegen.

Aufriss der Widerlagswände und Strebepfeiler.

Standfähigkeit der Widerlager.

Ein volle Wand verlangt, wie gesagt, eine verhältnismässig grosse Widerlagsmasse, das gilt besonders, wenn sich keine Oberlast über ihr befindet. An einer solchen Wand treten, abgesehen von zufälligen Beanspruchungen durch Wind und dergleichen, nur drei Kräfte auf: 1. das durch den Schwerpunkt gehende Eigengewicht Q der Wand (vergl. Fig. 340), 2. der dem Gewichte des vom Widerlager getragenen Wölbstückes (Wölbhälfte) gleiche senkrechte Widerlagsdruck V, 3. der Horizontalschub des Gewölbes H.

Der Schub H sucht den Mauerkörper um die Kante A zu drehen oder umzukanten. Die Gefahr des Umsturzes wächst mit der Grösse der Schubkraft H und mit ihrer Höhenlage. Das Produkt H . h (Kraft mal Hebelarm) nennt man Umsturzmoment. Der Umsturz wird verhindert durch die senkrechten Lasten Q und V. Je grösser diese sind und je grösser ihr Abstand von der Kante A (ihr Hebelarm) ist, um so günstiger wirken sie. Da diese Kräfte die Standfähigkeit oder Stabilität der Mauer sichern, pflegt man das Produkt Kraft mal Hebelarm als ihr Stabilitätsmoment oder Standmoment zu bezeichnen.

Damit eine Mauer stehen kann, muss die Summe aller Stabilitätsmomente grösser sein, als die algebraische Summe aller Umsturzmomente. Im vorliegenden Falle muss sein: $Q . q + V . v$ grösser als $H . h$. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird die Mauer umstürzen. Dass daneben noch andere Bedingungen in Frage kommen, dass z. B. an keiner Stelle die Pressung des Baustoffes zu gross werden darf, wird später noch Erörterung finden.

Aus den Anforderungen der Standfähigkeit gehen ohne weiteres die wichtigsten Bedingungen für die Bildung des Widerlagers hervor. Der Angriffspunkt des Horizontalschubes ist so tief als möglich herabzurücken, und der Schub selbst ist so klein als möglich zu machen, was sich besonders durch leichte steile Gewölbe erreichen lässt. Andrerseits ist es von Wert, die senkrechten Kräfte thunlichst gross zu machen und sie möglichst weit von der Aussenkante zurückzulegen.

Das Widerlagsgewicht kann man durch Verwendung eines schweren Materials, seinen Hebel durch äussere Abtreppung oder Dossierung vergrössern. Das Gewölbegewicht erhöht an sich die Stabilität, trotzdem muss man es in der Regel so klein als möglich machen, da mit ihm der ungünstige Schub wächst. Höchstens kann eine schwere Zwickelausmauerung als günstig in Frage kommen.

Einfluss der Oberlasten.

Von grösstem Werte kann eine richtig angebrachte Oberlast der Wand sein, die auch wieder um so wirkungsvoller ist, je grösser sie selbst oder ihr Hebelarm ist.

Auf die lastende Wirkung einer Dachkonstruktion, Balkendecke oder selbst Fachwand soll man sich nicht zu sehr verlassen. Abgesehen von den Gewichtsschwankungen ist bei der üblichsten Auflagerung durch Längsschwellen schwer vorauszusetzen, dass der Druck überall sich gleichmässig überträgt, es ist sehr wohl

denkbar, dass gerade über dem Wölbanfang das Holzwerk hohl liegt, so dass die Mauer unbehindert darunter ausweichen kann. Ausserdem kann leicht ein zeitweises Fehlen derartiger Konstruktionen bei Erneuerungen, Umbauten oder Feuersbrünsten eintreten.

Als nutzbringende Oberlast kann dagegen eine massive Wand gelten, jedoch kommt es sehr auf ihre Stellung an. Ihr Schwerpunkt muss möglichst weit von der Aussenkante der Widerlagswand zurückgeschoben sein (vergl. Fig. 342). Wird eine schwere dünne Wand auf die äussere Mauerflucht gerückt (Fig. 341), so wird sie das Stabilitätsmoment nur wenig vergrössern, wogegen sie die Druckpressung an der Aussenseite recht ungünstig steigern kann. Wenn gar im Laufe der Zeit ein gewisses Überhängen nach aussen eintritt, so kann der Schwerpunkt verhängnisvoll nahe an die Aussenkante rücken.

An alten Werken sind Widerlagswände ohne Strebepfeiler oft bedeutend gewichen, besonders wenn sich die ursprünglichen Lastverhältnisse verschoben haben, was man an pfeilerlosen Kirchen und Klosterbauten oft beobachten kann. Als Beispiel seien die dem XIII. Jahrhundert angehörenden Gewölbe im Domkreuzgange zu Riga angeführt (Fig. 341). Trotzdem die Gewölbe statisch günstig konstruiert sind, ihre Anfänger ziemlich dicht über dem Erdboden liegen und die Widerlagsstärke fast ein Drittel der Spannweite beträgt, befinden sich die Wände nach dem Ausweise angestellter statischer Ermittelungen an der Grenze der Stabilität. Es hat hier eine Aufhöhung des äusseren Fussbodens und das Hinzutreten anderer nachträglicher Lasten dieses Ergebnis zur Folge gehabt.

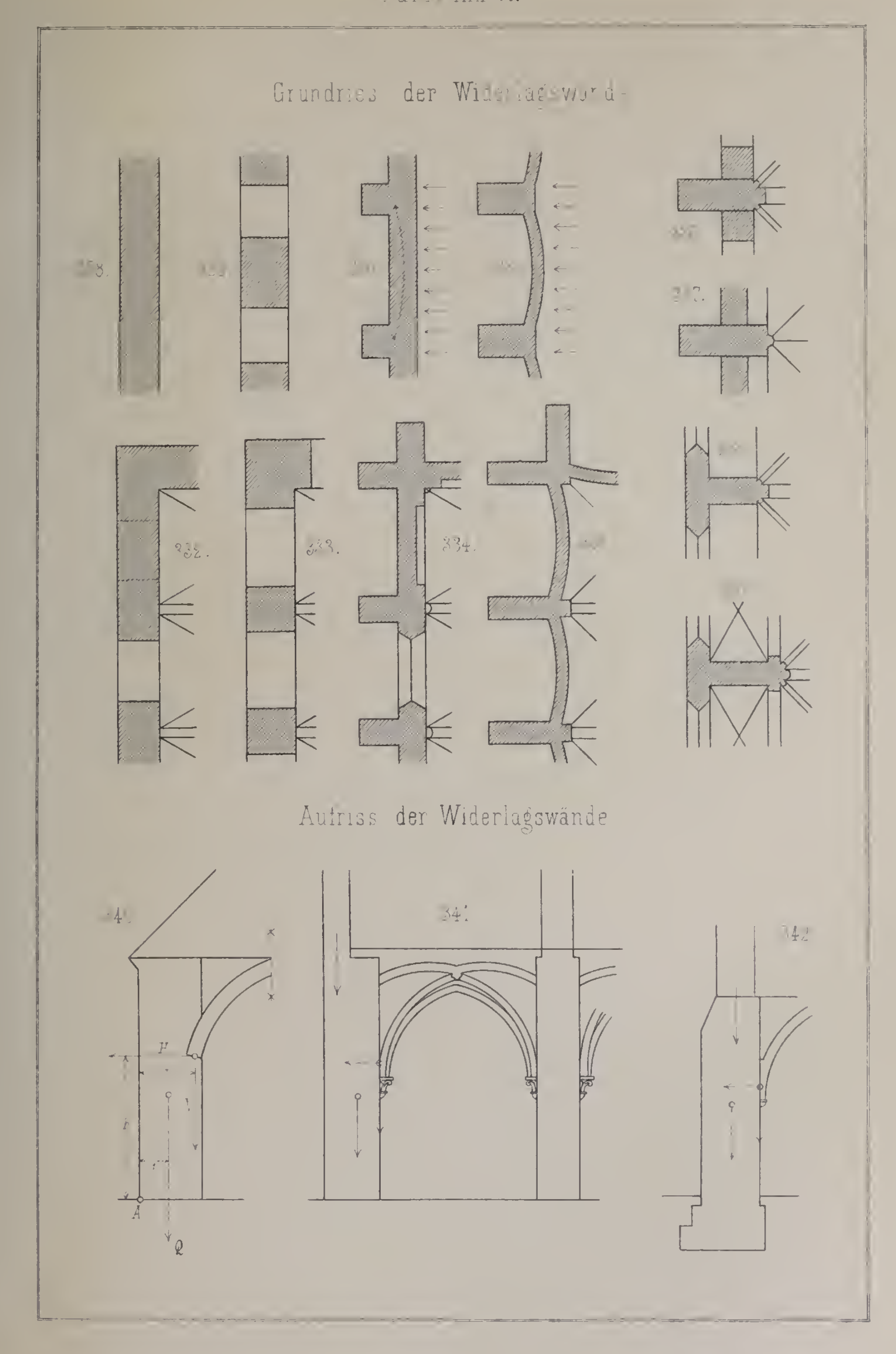
An diesen Betrachtungen lässt sich folgern, dass eine volle fortlaufende Wand als Widerlager für Gewölbe, besonders Kreuzgewölbe, sich nur da empfehlen kann, wo nur geringe Schübe auftreten, günstige Oberlasten vorhanden sind und aus anderen Gründen bereits dicke, volle Wände gefordert werden, z. B. bei den Kellern oder unteren Geschossen hoher Wohnhäuser. In anderen Fällen wird das Anlegen von Strebepfeilern immer zu grosser Materialersparung führen.

Ausmass der Strebepfeiler.

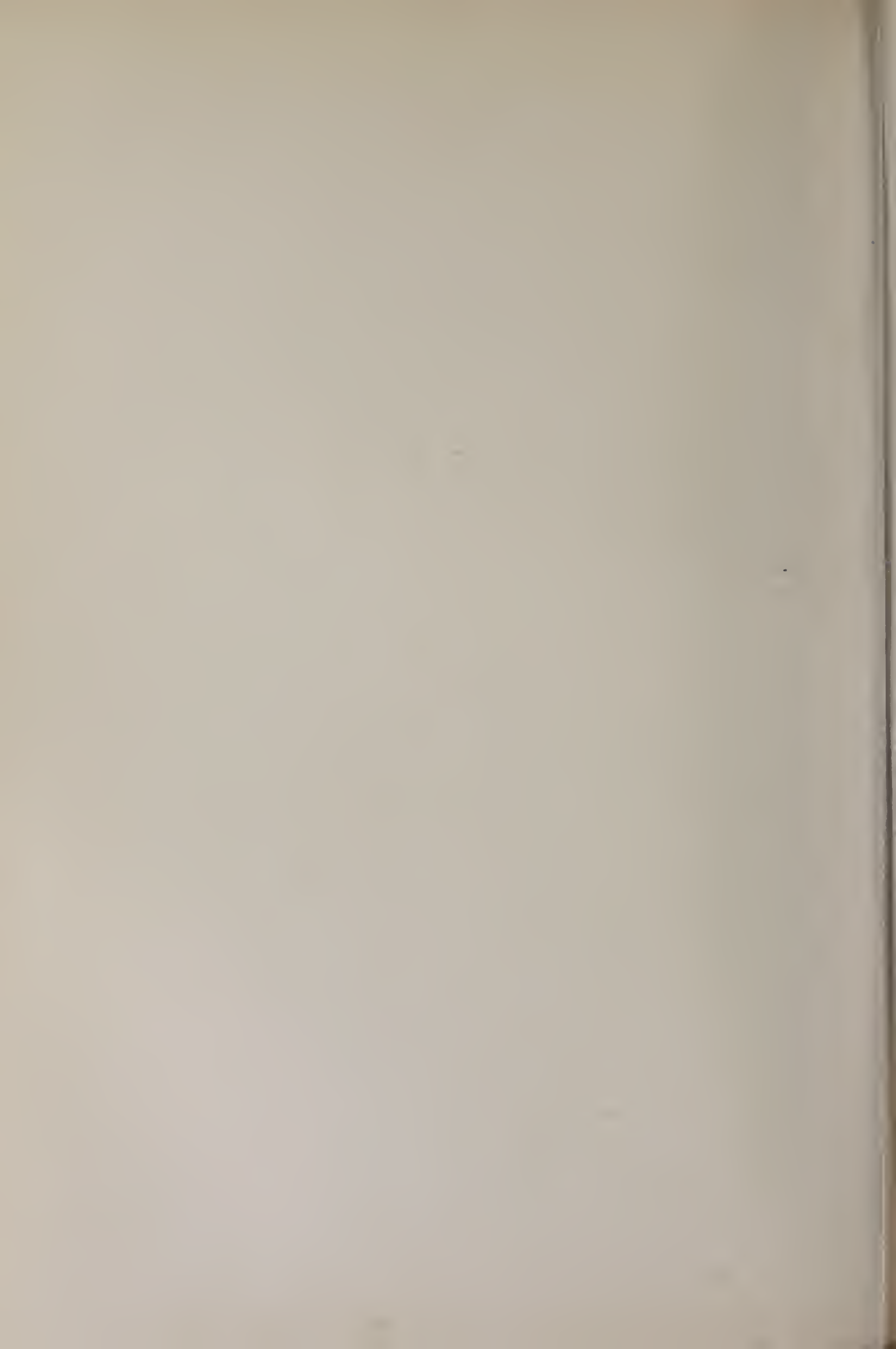
Da die Widerlagsfähigkeit eines Strebepfeilers mit seinem Vorsprunge, genauer seiner Länge, etwa quadratisch, mit seiner Dicke aber nur einfach wächst, so scheint es rätlich, ihn so schmal und lang als möglich herauszuziehen. Es werden aber Grenzen gesteckt durch die etwaige Verschiedenheit des Schubes in den beiden benachbarten Wölbfeldern, durch die Gefahr des seitlichen Umkantens oder Ausbauchens, schliesslich durch den Umstand, dass bei langgezogener Grundrissentwicklung die gute Verteilung des Druckes über den Querschnitt fraglich wird und demgemäss Abscherungen zu fürchten sind. Gewöhnlich bewegt sich die Länge zwischen der doppelten und dreifachen Breite, wobei das die Mauer durchsetzende Stück der Länge eingerechnet ist. Häufig wird empfohlen, den Strebepfeiler so dick wie die Wand, und seinen Vorsprung vor dieser so gross wie die Diagonale eines aus der Wanddicke konstruierten Quadrates zu machen, dazu sei bemerkt, dass gar zu starre Vorschriften über die Abmessungen derartiger Bauteile müssig und dem früheren Mittelalter unbekannt sind.

Der Strebepfeiler kann der Wand gegenüber vorherrschend oder untergeordnet sein, danach richtet sich seine Bedeutung als Widerlagskörper, meist fällt dem Strebepfeiler die grössere Aufgabe zu. Ist die Wand nur dünn, so wird man nicht ihre ganze Länge dem Strebepfeiler als Widerlager zurechnen, sondern nur

Tafel XXXVI.



Grundriss der Widerlagswand
332.
333.
334.
Aufriss der Widerlagswände
341.
342.
F
A
Q



die benachbarten Teile, vielleicht zu jeder Seite nur ein Wandstück von quadratischem Grundrisse (Fig. 344.) Tritt die Stärke der Wand noch mehr zurück, so empfiehlt es sich, auf ihre Mitwirkung gar nicht zu rechnen, oder ihr höchstens bei überhöhten Gewölben den auf sie kommenden Schub des zugehörenden Kappenteiles zuzumessen.

Im Aufrisse kann der Strebepfeiler bis zum Gewölbeanfange, bis zum Hauptgesimse oder noch darüber hinaus in die Höhe steigen, er kann gerade aufwachsen oder vorn und seitlich Absätze haben, schliesslich auch stetige Querschnittsveränderungen erfahren.

Die theoretisch beste Form würde ein Strebepfeiler haben, der genau der Stützlinie folgte (Fig. 343). Letztere würde immer in der Mitte liegen und der Querschnitt sich nach unten gemäss der Drucksteigerung allmählich vergrössern. Ob die Lagerfugen dabei senkrecht gegen die jeweilige Druckrichtung oder einfach wagerecht laufen, ist meist ziemlich gleichgültig. Das innere Wandstück C D E könnte ganz entbehrt werden, soweit es nicht etwa nötig wäre, den Pfeiler vor Einfügung der Gewölbe aufrecht zu erhalten.

In der That nähern sich Strebepfeiler an alten Werken ziemlich nahe dieser Grundform, die natürlich infolge der ganzen architektonischen Ausbildung nicht so unvermittelt zu Tage tritt. Selbst das Fehlen des unteren überflüssigen Stückes C D E ist erstrebt durch ein allmähliches Vorkragen der Wölbglieder. Lediglich nach dem Wölbschub lässt sich allerdings das Widerlager nicht immer festsetzen, es spricht vielmehr oft der Winddruck mit (s. hinten), welcher die Drucklinie wechselnd mehr nach aussen und innen schiebt. Mit Rücksicht auf den Winddruck müsste der Pfeiler in Fig. 343 so abgewandelt werden, dass er die verschiedenen Drucklagen aufnehmen könnte. Derartige Pfeiler sind natürlich mit dem denkbar geringsten Materialaufwande herstellbar, erfordern aber eine etwas lange Grundrissentwicklung in der Schubrichtung. Soll diese beschränkt werden, so bleibt nichts weiter übrig als eine grössere Massenauftürmung in der Höhenrichtung.

Der gerade aufwachsende Strebepfeiler der ersten Gotik hat keine sehr grosse Grundrisslänge, erfordert aber noch ziemlich viel Masse (Fig. 344). Der trapezförmige Pfeiler (Fig. 345) ist im Grundrisse zwar etwas länger, spart aber nicht unerheblich an Masse. An Stelle des Trapezes kann eine dreieckige Pfeilervorlage in Frage kommen, besonders wenn die Umfassungswände schon an sich recht kräftig sind (Fig. 346). Der Trapez- oder Dreiecksumriss braucht nicht in seiner schlichten Form zu Tage zu treten, er kann vielmehr eine geeignete Auflösung erfahren, bei der aber vor gar zu plötzlichen Querschnittsänderungen zu warnen ist, denn selbige führen leicht zu Rissen und Abscherungen.

Den Vorzug der nach oben verjüngten Pfeiler 345 und 346 gegenüber dem geraden 344 erkennt man bei einem Vergleiche mit der Form Fig. 343, er leuchtet aber auch ohne weiteres ein, sobald man sich das Stabilitätsmoment vorstellt, das weite Zurücktreten des Schwerpunktes hinter die Kippkante ist von Vorteil. In dieser Hinsicht kann man noch mehr erreichen, wenn man den rechteckigen Grundriss verlässt und dafür unten und oben verschiedene Querschnitte einführt, z. B. zwei gegeneinander gekehrte Dreiecke (Fig. 348). Unten ist es günstig, die

gefährdete Aussenkante *a b* so lang als möglich zu machen, oben dagegen ist es besser, die Masse möglichst nach hinten zu schieben. Auch diesen Vorteil hat sich das Mittelalter nicht entgehen lassen. Es treten sehr oft Grundrisse nach der Art der Fig. 349 auf, bei denen unten die Aussenkante durch Eckvorlagen verstärkt ist, während oben schwere Fialenaufbauten dicht an der Mauerflucht an günstigster Stelle belasten. Man sieht, an der Möglichkeit mannigfaltiger Gestaltung fehlt es dem Strebepfeiler weder in statischer noch architektonischer Beziehung; über seine weitere Ausbildung wird noch an anderer Stelle zu sprechen sein.

Bei Fig. 343 war gezeigt, dass sich ein Raum unter dem Strebepfeiler ganz sparen lässt, besonders wird das bei sehr hohen Pfeilern merklich sein. Man kann noch einen Schritt weiter gehen und nach Art der Fig. 347 die am Wölbanfange wirkenden Kräfte in zwei Richtungen spalten. Den einen Teil kann man in einem Pfeiler A B senkrecht nach unten führen, den anderen aus dem Schube und nach Belieben auch einem Teile der senkrechten Lasten gebildeten Kraftanteil führt man, der Stützlinie folgend, in einem gebogenen Mauerkörper A C hinab. Letzterer wird dünner, rückt aber weiter nach aussen als der Strebepfeiler Fig. 343. Den Raum C B zwischen dem äusseren und inneren Pfeiler kann man in das Innere des Bauwerkes hineinziehen, wodurch sich auch auf diesem Wege die basilikale Kirchenanlage mit ihrem Strebesysteme herausbilden würde. Je nach der Art, wie man die Kräfte auf die beiden Mauerkörper verteilt, und nach der Weise der Massenanordnung in denselben hat man es in der Hand, die verschiedensten Formen für ein solches Strebesystem abzuleiten. Wie man den Gleichgewichtszustand in demselben prüfen kann, wird bald in einem besonderen Abschnitte besprochen werden.

Mittelpfeiler.

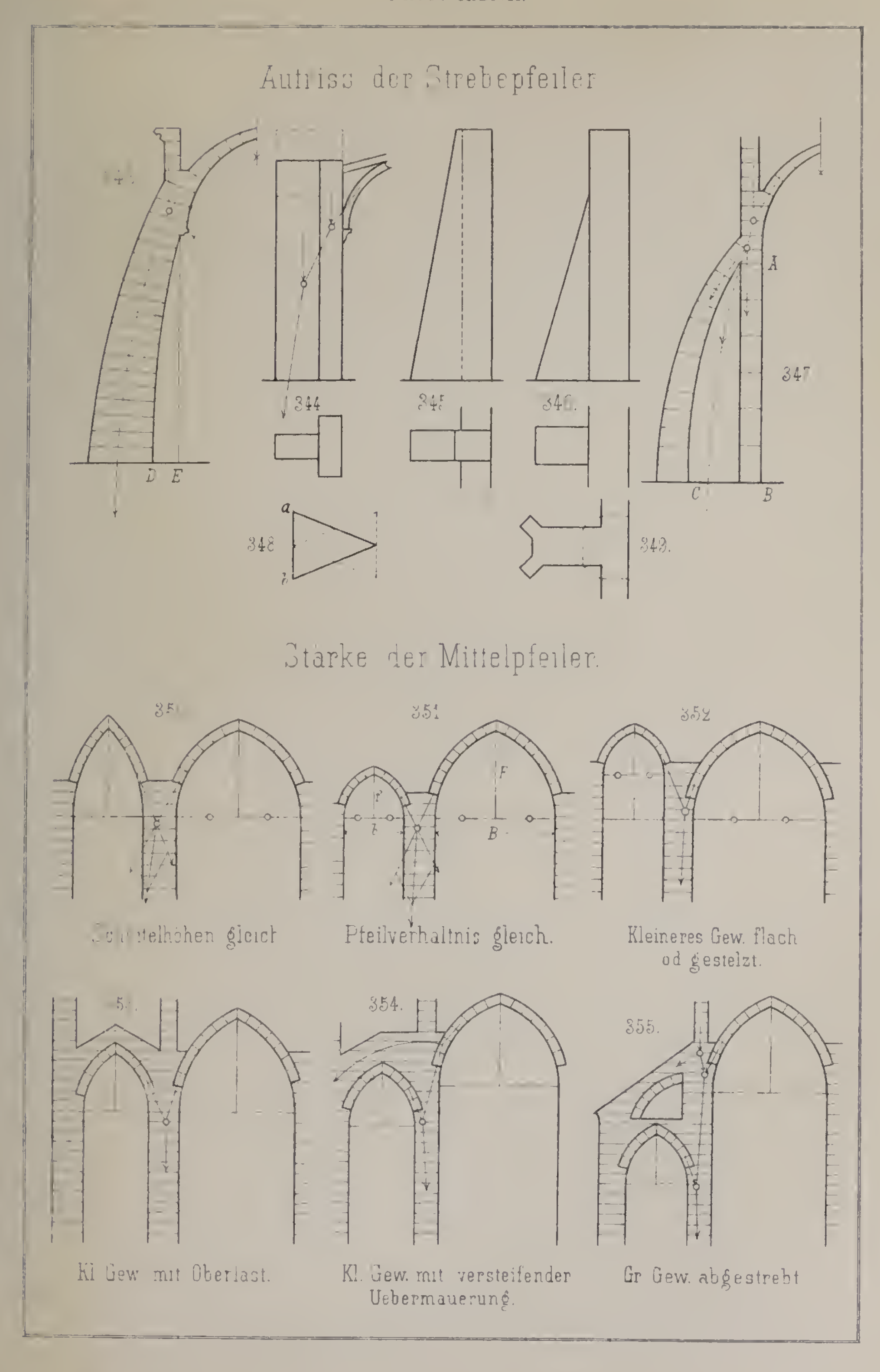
Allseits gleiche Schübe.

Treten Wölbungen in mehreren Reihen nebeneinander, so werden zu ihrer Unterstützung Mittelpfeiler nötig. Die Benutzung des Raumes erheischt für dieselben meist eine möglichst geringe Dicke, zu deren Erlangung ein allseitiger Ausgleich der Schubkräfte am wirksamsten beiträgt. Heben sich alle Horizontalschübe gegenseitig auf, so braucht der Pfeiler nur so stark zu sein, dass er unter der Last der ihm auflagernden Gewölbe nicht zerdrückt oder zerknickt wird, dazu gehört aber gewöhnlich nur ein sehr geringer Querschnitt, den man zur Sicherheit mit Rücksicht auf zufällige schiefe Belastungen oder den ungleichartigen Vorgang beim Einwölben etwas zu vergrössern pflegt.

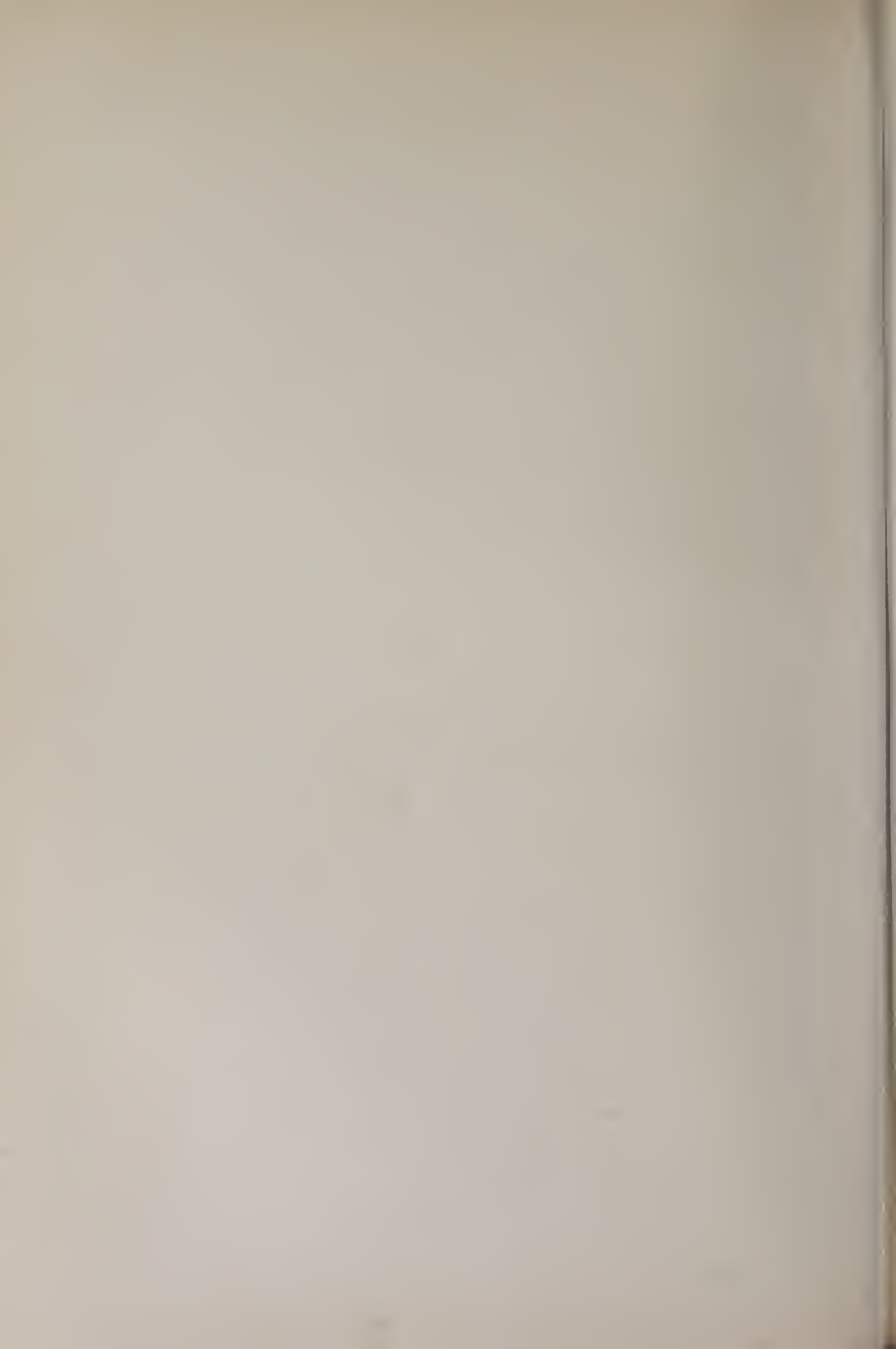
Wenn ein weiter Saal oder auch eine mehrschiffige Kirche mit Gewölben gleicher Grösse und Höhe überspannt wird, so ergiebt sich ein Ausgleich der Schübe meist von selbst; man kann einen solchen aber auch bei verschieden breiten, benachbarten Gewölben, beispielsweise einer Kirche mit ungleichen Schiffbreiten, durch geeignete Konstruktion ganz oder zum Teil erreichen.

Ausgleich der Schübe verschieden weiter Gewölbe.

Treten zwei Gewölbe von gleicher Stärke und gleicher Scheitelhöhe aber abweichender Spannung zusammen, so fallen die Schübe sehr verschieden aus, sie verhalten sich etwa wie die Quadrate der Spannweiten (Fig. 350). Bei einem Weitenverhältnisse wie 2 zu 3 wären z. B. die Schübe wie 4 zu 9 und bei einem Unterschiede wie 1 zu 2 würde gar der grössere Schub 4 mal den kleinen über-



Aufriss der Strebepfeiler
344
345
346.
347
348
349.
a
b
A
B
C
D
E
Stärke der Mittelpfeiler.
351
352
F
B
Pfeilverhaltnis gleich.
Kleineres Gew. flach od gestelzt.
354.
355.
Kl Gew. mit Oberlast.
Kl. Gew. mit versteifender Uebermauerung.
Gr Gew. abgestrebt



wiegen, so dass nach gegenseitigem Ausgleich der Pfeiler noch einen Überschuss an Schub aufnehmen müsste, der $^3/_4$ des grossen Wölbschubes gleichkäme.

Besser begleichen sich schon die Schübe, wenn die Pfeilhöhe des kleinen Gewölbes sich in der Weise verringert, dass sein Höhen- oder Pfeilverhältnis (f : b) demjenigen des grossen Gewölbes (F : B) gleichkommt, es stehen dann die Schübe etwa im direkten Verhältnisse ihrer Spannweiten zu einander (Fig. 351).

Sollen sich die Schübe ganz aufheben, so würde die Pfeilhöhe des kleineren Gewölbes noch weit geringer werden müssen (vergl. in Fig. 352 die punktierte Bogenlinie). Durch genügende Abflachung des kleinen Gewölbes lässt sich der Schubausgleich statisch immer ermöglichen, selten aber gestatten architektonische Rücksichten diese Lösung. Jedenfalls soll man, soweit es irgend thunlich ist, die Pfeilhöhe des kleinen Gewölbes verringern statt sie zu vergrössern; vor sehr spitzen lanzettförmigen Bogen ist besonders zu warnen, sie sind an sich schon statisch unvorteilhaft (vergl. vorn S. 56) und sind in diesem Falle besonders bedenklich. Muss man das schmale Gewölbe durchaus zu derselben Scheitelhöhe erheben wie das breite, so ist an Stelle eines schlanken Spitzbogens (Fig. 350) besser ein weniger spitzer, aufgestelzter Bogen zu verwenden, wie ihn Fig. 352 zeigt. Man vergrössert dadurch den Schub des kleinen Gewölbes und lässt ihn höher zum Angriff kommen, was beides günstig wirkt.

Lässt sich durch eine geeignete Wahl der Pfeilhöhe der Schub nicht ausgleichen, so muss man zu einer künstlichen Vermehrung des Gewichtes beim schmaleren Felde schreiten, was am besten durch Übermauerung des Gurtes zu erzielen ist (Fig. 353).

Wenn das Mittelgewölbe höher ansetzt, also sein Schub um so mehr überwiegt, so kann die seitliche Gurtübermauerung sogar eine Absteifung bewirken, durch welche der Schub zum Teil über den kleineren Gurt fortgeleitet wird (Fig. 354).

Bei grösserem Höhenunterschiede würde eine volle Gurtübermauerung zu schwer werden und den Schub des kleinen Gurtes zu sehr steigern. Man muss dann in der Strebewand Öffnungen anbringen, welche ihr Gewicht verringern, aber oben ein Abfangen des Schubes vom Hauptgewölbe zulassen (Fig. 355). Ein steigender Bogen ist dazu am meisten geeignet. Es bildet sich damit ganz von selbst das Strebesystem aus, das bald nach seiner Aufnahme in wunderbarer Weise weiter vervollkommnet wurde.

Bestimmung der Widerlagsstärke.

Es sind soeben in grossen Zügen die Grundformen der Widerlager nebeneinandergestellt, die weitere Gestaltung und architektonische Ausbildung der Wände, Strebepfeiler und Strebebogen wird an geeigneter Stelle im Zusammenhange mit der ganzen Entwicklung des Kirchenbaues seine Erledigung finden; hier handelt es sich zunächst darum, die erforderliche Stärke der Widerlager und die in ihnen auftretenden Spannungen kennen zu lernen. Die richtige Bemessung der Wand- und Pfeilerstärken ist für die mittelalterliche Bauweise eine Frage von so einschneidender Bedeutung, dass ihr nachstehend mehrere Kapitel zu widmen sind.

Bisher richtete man sich in Ermangelung eines Besseren nach Konstruktionsregeln, die aus den Überkommnissen des spätesten Mittelalters geschöpft oder von neueren Meistern oft mit viel Scharfsinn aufgestellt waren (vergl. darüber hinten - Grundrissbildung der Kirche). Für mittlere Verhältnisse sind dieselben meist gut zutreffend, sie verlieren aber naturgemäss ihre Geltung, sobald besondere Fälle vorliegen, sie können dann sogar zu bedenklichen Irrungen führen. Nie lassen solche Regeln ein Gefühl der Sicherheit zu, ein Umstand, der vielleicht der mittelalterlichen Bauweise schon manchen Jünger entfremdet hat. Zuversicht zu seinen Konstruktionen hat man aber sofort, wenn man sich die Wirkung der Kräfte klar vergegenwärtigen und direkt mit ihr arbeiten kann*). Die einfache Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte, welche neuerdings von der graphischen Statik zu so hoher Bedeutung erhoben ist, giebt ein äusserst bequemes und leicht verständliches Mittel dazu an die Hand, das für vorliegende Zwecke um so wertvoller ist, als es selbst dem der Mathematik nahezu ganz Unkundigen zugänglich ist, es setzt als Vorkenntnis eigentlich nichts weiter voraus als die Lehre vom Parallelogramme der Kräfte, die da besagt, dass die Diagonale eines Parallelogrammes die Grösse und Richtung einer Mittelkraft (Resultante) darstellt, welche sich in zwei durch die Parallelogrammseiten dargestellte Seitenkräfte zerlegen lässt, oder welche umgekehrt an die Stelle zweier solcher Seitenkräfte gesetzt werden kann.

2. Grösse und Lage des Widerlagsdruckes der Gewölbe.

Handelt es sich darum, die Kräfte oder richtiger die Spannungen in einem Widerlagskörper zu ermitteln, so muss man zunächst den vom Gewölbe ausgeübten Widerlagsdruck kennen. Wenngleich derselbe aus den früher besprochenen statischen Eigenschaften des Gewölbes resultiert, soll er an dieser Stelle, soweit er für die Widerlager in Frage kommt, des besseren Zusammenhanges wegen zur Besprechung gelangen.

Jedes Gewölbe übt eine schräg gerichtete Pressung gegen sein Widerlager aus, die um so flacher geneigt ist, je flacher das Gewölbe ist (vergl. Fig. 356 und 357). Dieser Widerlagsdruck W lässt sich in eine wagerechte und senkrechte Seitenkraft H und V zerlegen, die erste nennt man den Horizontalschub, die zweite ist die Widerlagsbelastung. Man kann ganz nach Belieben entweder den schrägen Druck W oder seine beiden Seitenkräfte in Rechnung setzen.

Die Widerlagslast V ist immer gleich dem Gewichte des auf diesem Widerlager ruhenden Gewölbestückes.

Der Horizontalschub H wechselt nicht allein mit der Grösse und Verteilung des Gewichtes, sondern ganz besonders mit dem Pfeilverhältnisse des Gewölbes. In den Abbildungen 356 und 357 ist V als gleich vorausgesetzt, H fällt dagegen

*) Bei dem Zuge unserer Zeit, aus Unwissenheit oder Bequemlichkeit lieber ein teures Surrogat als eine billigere gesunde Konstruktion zu verwenden, haben sich neuere Baumeister nicht entblödet, anscheinende Rippengewölbe aus einem komplizierten mörtelbeworfenen Netze aus Gitterträgern und Drahtmaschen herzustellen. —

wegen der ungleichen Steilheit sehr verschieden gross aus; was auf die erforderliche Widerlagsstärke natürlich vom grössten Einflusse ist.

Um den Widerlagsdruck zu ermitteln, können mehrere Wege eingeschlagen werden, die, soweit sie bereits bei den Gewölben erwähnt, hier noch einmal in Kürze mit aufgezählt werden mögen.

Ermittelung des Widerlagsdruckes. 1. Mit Hülfe der Drucklinie

1. Durch Konstruktion der Drucklinien, die unter den Gewölben (S. 53) näher erläutert ist, gewinnt man das klarste und zuverlässigste Bild von dem Verlaufe der Druckspannungen im Gewölbe selbst, gleichzeitig liefern die Endkräfte der Drucklinien unmittelbar den schräg gerichteten Widerlagsdruck nach Grösse und Richtung.

Beim Tonnengewölbe ermittelt man die Linie für einen Streif von vielleicht 1 m Breite, beim Kreuzgewölbe sucht man jede Drucklinie in den Rippen und dem Gurte für sich auf und setzt am Gewölbeanfange aus ihnen die gemeinsame Widerlagskraft zusammen.

In jedem Bogen oder Gewölbe ist eine grosse Anzahl von Drucklinien möglich (Fig. 358). Als die günstigste I ist diejenige zu bezeichnen, welche sich möglichst wenig von der Mittellinie entfernt (genauer gesagt, welche die geringsten Kantenpressungen ergiebt — über letztere weiter unten). Neben dieser giebt es steilere und flachere Drucklinien, erstere liefern einen geringeren, letztere einen grösseren Widerlagsdruck. Ist der Mörtel nicht zugfest, so darf keine der durch die zu erwartenden Belastungen hervorgerufenen Drucklinien das Gewölbe irgendwo verlassen, besser wird die Bedingung gestellt, dass die Linien im Kerne (mittleren Drittel) bleiben sollen. Als zulässige Grenzlagen würden danach einerseits die steilste „im Kerne liegende" Stützlinie *II* in Fig. 358, andrerseits die flachste *III* anzusehen sein. Es sei darauf hingewiesen, dass die Forderung nach der Kernlage der Drucklinie nicht zu schablonenhaft aufgefasst zu werden braucht. Bei geringer Beanspruchung des Mauerwerkes darf man der Drucklinie dreist einen etwas grösseren Spielraum gewähren, z. B. statt des mittleren Drittels die mittlere Hälfte der Wölbdicke oder auch noch mehr.

Will man für die Widerlagsstärke eine recht gewissenhafte Untersuchung anstellen, so kann man dieselbe getrennt für die beiden Grenzlagen *II* und *III* vornehmen. Die steilere wird etwas schwächere, die flache etwas stärkere Widerlager fordern. Bei dünnen und hohen Gewölben fallen beide Werte gewöhnlich ziemlich nahe zusammen.

Wenn man die Widerlagsstärke nach der flacheren Linie III festsetzt, dann ist man sicher, die Widerlager jedenfalls nicht zu schwach zu bekommen.

2. Angenähertes graphisches Verfahren

2. Eine angenäherte graphische Ermittelung des Wölbschubes ergiebt sich sehr einfach, wenn man nicht die ganze Drucklinie, sondern nur deren Endkräfte benutzt. Diese Endkräfte kann man angenähert ermitteln, sie müssen stets die Seitenkräfte sein zu einer Resultierenden aus allen äusseren auf das Gewölbe wirkenden Kräften. Letztere bestehen gewöhnlich nur aus dem Eigengewichte mit den etwaigen Oberlasten der Wölbung.

Hat man es mit einem symmetrisch gebildeten und belasteten Gewölbe zu thun, so betrachtet man nur die eine Hälfte (Fig. 359). Die obere Endkraft im Scheitel muss in diesem Falle horizontal sein, ausserdem muss sie durch den Kern des Querschnittes gehen. Man lege sie zur Sicherheit in die innere Grenze *d* des Querschnittkernes. Zieht man hier eine horizontale Linie, so hat man die Lage und Richtung der oberen Endkraft H, aber noch nicht ihre Grösse. Man bestimmt nun das Gewicht G der Gewölbehälfte, welches senkrecht durch den Schwerpunkt führen muss, es schneidet die Horizontale im Punkte *O*. Durch

diesen Punkt O muss auch die Widerlagskraft W gehen, deren Richtung man erhält, sobald ihr Durchgangspunkt e durch das Widerlager angenommen ist; als solcher sei hier die äussere Kerngrenze (in ein Drittel Abstand von der Aussenkante der Aufstandsfläche) gewählt. Um ausser der so gewonnenen „Lage“ auch die „Grösse“ der Kräfte H und W zu erhalten, trägt man die berechnete Schwerkraft G von o aus nach einem bestimmten Massstab (z. B. 100 kg = 1 cm) nach unten ab und zieht durch den Endpunkt c Parallele zu den Seitenkräften, wodurch man das Parallelogramm $O\,i\,c\,b$ erhält, dessen Seitenlängen $O\,i$ und $O\,b$ die gesuchte Grösse der Kräfte H und W nach dem gleichen Massstabe bezeichnen. Über die Wahl des unteren Durchgangspunktes e siehe auch die folgende Seite.

Liegt ein unsymmetrisches Gewölbe vor, so schlägt man das entsprechende Verfahren für das ganze Gewölbe statt für die Hälfte ein. Fig. 360 (vergl. darüber auch vorn S. 58 und Fig. 128, 129).

3. Angenähertes rechnerisches Verfahren.

3. Die angenäherte rechnerische Ermittelung des Widerlagsdruckes ist der vorigen nahe verwandt. Man berechnet zunächst Grösse und Lage der an der Wölbhälfte (Fig. 361) auftretenden Schwerkraft G und nimmt dann nach Schätzung die wahrscheinlichen Durchgangspunkte d und e der Endkräfte an. Für den unteren Punkt e stellt man nun die Momentengleichung auf. Letztere stützt sich darauf, dass ein Konstruktionsteil (hier die Wölbhälfte) sich nur im Gleichgewichte befindet, wenn für irgend einen Punkt sich die Momente (Kraft mal Hebelarm) aller vorhandenen Kräfte aufheben. Hier kommen nur die drei Kräfte G, H und W in Frage, von denen die letzte ausfällt, da sie durch den Punkt e geht und daher einen Hebel gleich Null liefert. Somit lautet die Momentengleichung: $G \cdot a = H \cdot h$, woraus sich der obere Horizontalschub H berechnen lässt $H = \frac{G \cdot a}{h}$.

Da sich in senkrechter und wagerechter Richtung alle Kräfte gegenseitig ausgleichen müssen, ist aber bei jedem nur senkrecht belasteten Gewölbe der Horizontalschub oben und unten gleich, man hat somit zugleich den unten auf das Widerlager wirkenden Horizontalschub gefunden. Die senkrechte Widerlagslast V kennt man auch, da sie ebenso gross wie G. Hat man aber die Seitenkräfte H und V, so hat man auch nach dem Parallelogramme der Kräfte ihre Mittelkraft W.

Durchgang des Druckes im Scheitel und am Widerlager.

Man erkennt, dass die angenäherte Ermittelung des Widerlagsdruckes eine sehr leichte Sache ist, eine gewisse Schwierigkeit liegt nur darin, die Durchgangspunkte d und e möglichst zutreffend zu wählen. Wäre ihre Lage eindeutig bekannt, so hätte man es überhaupt nicht mit einem angenäherten sondern mit einem bestimmten Verfahren zu thun. Eine exakte Kräfteausmittelung ist nun aber für ein Gewölbe überall nicht möglich, da viele Zufälligkeiten mitreden, man kann daher die angegebenen Wege als durchaus hinlänglich für die Praxis ansehen. Ist man im Zweifel, wie man die Punkte d und e annehmen soll, so kann man sich durch die Konstruktion einer oder mehrerer Stützlinien (Verfahren 1) einen klareren Aufschluss verschaffen. In den meisten Fällen wird es sich empfehlen, den Durchgangspunkt im Scheitel d näher nach der inneren Leibung, den Punkt e dagegen mehr nach der äusseren Leibung zu schieben.

Ist der Gewölbanfang hintermauert und in die Wand eingebunden, dann ist es schwer, eine bestimmte Aufstandsfläche des Widerlagers anzugeben. Man kann dieselbe unter Umständen bis zur ersten schrägen Fuge hinaufgerückt denken, in der man dann einen Durchgangspunkt e_1 festlegt (Fig. 361). Meist ist es aber in solchen Fällen einfacher, den Durchgangspunkt e in die senkrechte Wandflucht $M\,M$ zu legen, dabei aber darauf zu achten, dass derselbe zur Sicherheit eher etwas zu hoch denn zu tief gewählt wird. Es kann sehr leicht der Fall eintreten, dass die Hintermauerung zum Übertragen der Wölbschübe mit benutzt wird und sich eine viel flachere Stützlinie bildet als der erste Anblick des Gewölbes vermuten lässt. Der wahrscheinlichste Punkt e liegt gewöhnlich um $^1/_3$–$^1/_2$, oft gar $^2/_3$ der Pfeilhöhe oberhalb des Kämpfergesimses.

Bei einem unsymmetrisch geformten oder belasteten Gewölbe (Fig. 360 bezw. 360a) ist die Kraftbestimmung durch Rechnung auch wieder derjenigen durch Zeichnung ähnlich, man betrachtet das Gewölbe als Ganzes und berechnet zunächst Grösse und Lage seines Gesamtgewichtes G. Sodann nimmt man die Durchgangspunkte e_1 und e_2 und die ungefähr tangentiale Richtung der Endkräfte W_1 und W_2 schätzungsweise an und hat nun deren Grösse zu bestimmen. Beim graphischen Verfahren geschah das durch Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte, hier stellt man erst die Momentengleichung für den Punkt e_1 auf, um die Kraft W_2 zu bekommen, und darauf die Momentengleichung für e_2, um die Widerlagskraft W_1 zu finden. Zu beachten ist dabei, dass man nicht die Widerlagsdrücke selbst, sondern die schräg nach oben gerichteten Gegendrücke der Widerlager (Widerlagsreaktionen) in Rechnung zu setzen hat (Fig. 360a).

Kräfte im Innern eines Körpers oder an der Berührungsfläche zweier Körper treten bekanntlich immer paarweise auf, so ruft ein Druck, den ein Körper auf einen anderen ausübt, stets einen gleich grossen entgegengesetzt gerichteten Gegendruck des anderen Körpers hervor. Will man an irgend einem Körper oder einem Teile eines solchen statische Untersuchungen vornehmen, so denkt man ihn aus seiner Umgebung herausgeschnitten und hat dafür an jeder Schnittfläche die hier wirkenden Gegenkräfte zuzufügen. Es müssen sich sodann die Kräfte im Gleichgewichte halten, dieses ist aber der Fall, wenn die folgenden drei Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sind:


Allgemeine Gleichgewichtsbedingungen.

1. Für einen jeden beliebigen Punkt als Drehpunkt muss die Summe aller rechts drehenden Kraftmomente gleich der Summe aller links herum drehenden Momente sein.

2. In senkrechter Richtung muss die Summe der nach unten gerichteten gleich der Summe der nach oben gerichteten Kräfte sein.

3. In wagerechter Richtung muss die Summe der nach rechts gekehrten Kräfte gleich der Summe der nach links gekehrten sein.

Um die beiden letzten Bedingungen auf schräg gerichtete Kräfte anwenden zu können, muss man diese zuvor in ihre senkrechten und wagerechten Seitenkräfte zerlegen.

Mit Hilfe dieser drei Bedingungen löst bekanntlich die Statik ihre meisten Aufgaben, auch bei der vorstehenden einfachen Ermittelung der Widerlagskräfte bei Fig. 361 sind sie angewendet worden, dazu ist noch nachzutragen, dass die Endkräfte H und W nicht in der in Fig. 361a gezeichneten Richtung, sondern in der durch Fig. 361b veranschaulichten Richtung als Gegendrücke einzusetzen sind. Liegt der Fall weniger einfach, liegen z. B. statt des Gewichtes G die äusseren Kräfte in grösserer Anzahl vor, so ist der einzuschlagende Gang dessen ungeachtet immer derselbe.

Bei Darstellung der drei Wege zur Ermittelung des Widerlagsschubes ist es unerörtert geblieben, welche Gewölbeform vorausgesetzt ist, für das Tonnenge-

wölbe gelten sie ohne weiteres, sie lassen sich aber auch unmittelbar auf das Kreuzgewölbe übertragen.

Schub der Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel.

Für ein einfaches Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel ohne Überhöhung Fig. 362 und 362a ergiebt sich, wie man leicht erkennt, etwa dieselbe Widerlagskraft, wie für ein Tonnengewölbe gleichen Querschnittes und gleicher Grundfläche. Es wirken bei beiden Gewölben dieselben drei Kräfte G, H und W. Die resultierende Schwerkraft G ist bei beiden nach Grösse und Lage ziemlich gleich. (Beim Kreuzgewölbe ist sie wegen der kleineren Hintermauerung oft etwas kleiner, ihr Hebel dafür aber etwas grösser — bei überschütteten Gewölben kann der Unterschied am meisten merklich werden.) Der Horizontalschub H oben muss bei beiden Gewölbearten in der Scheitelfuge in gleicher Höhe *d* liegen. Die Höhenlage *e* des Durchgangspunktes vom resultierenden unteren Gewölbeschub wird gleichfalls nur geringe Schwankungen zeigen. Der einzige wesentliche Unterschied besteht nur darin, dass sich der Schub beim Tonnengewölbe auf die ganze Widerlagslänge *m p* im Grundrisse 362 verteilt, während er beim Kreuzgewölbe sich an einer Stelle bei *C* überträgt.

Schub busiger Kreuzgewölbe.

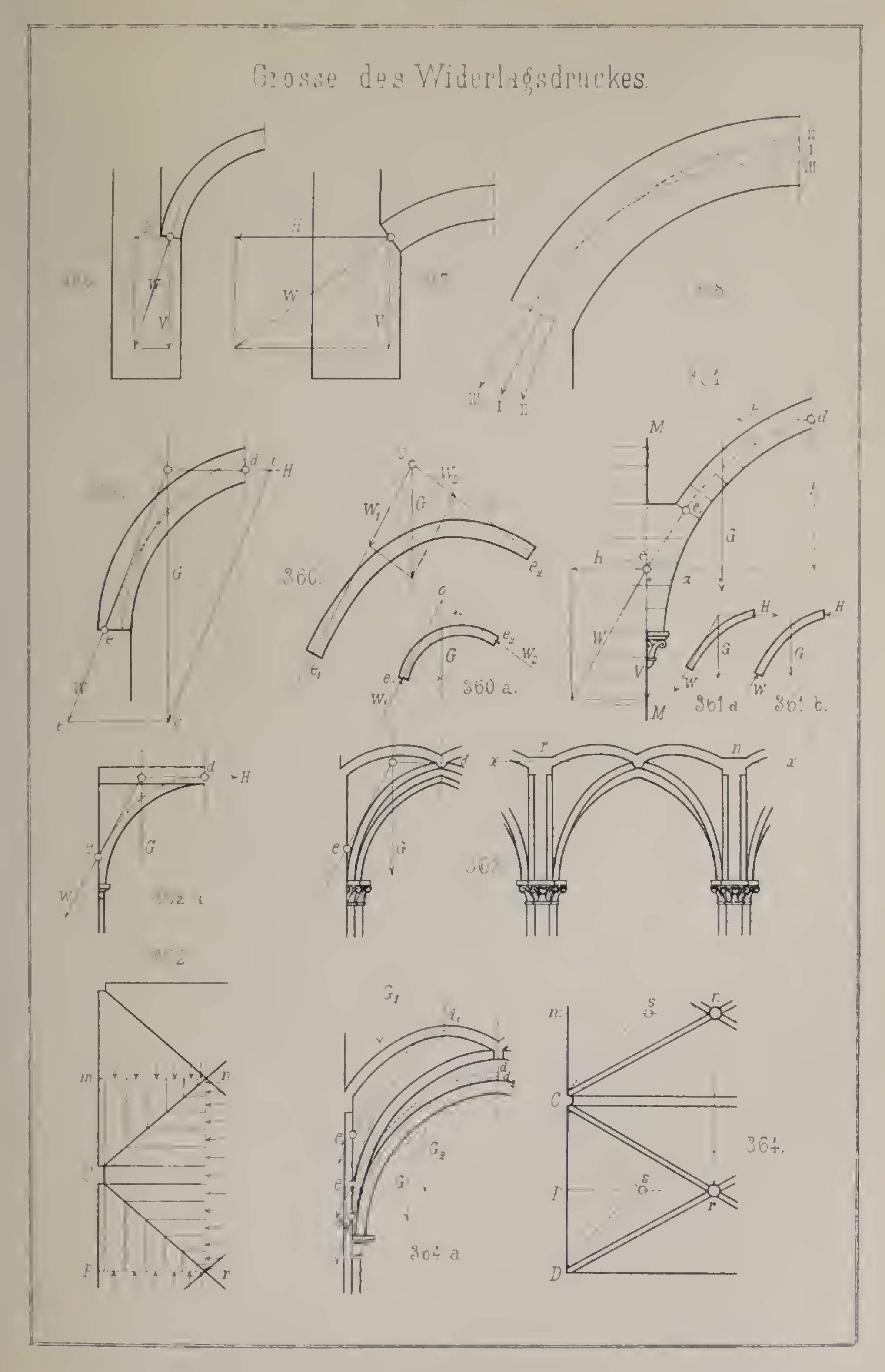
Liegt ein stark busiges Kreuzgewölbe vor mit vortretenden Gurt- und Rippenbogen, das zugleich auch eine Überhöhung des Schlusspunktes aufweisen kann, so ist in derselben Weise zu verfahren, nur ist es schwieriger, die durchschnittliche Höhenlage des oberen Horizontalschubes festzulegen. Fig. 363 zeigt ein solches Gewölbe in Querschnitt und Längsschnitt. Der Schub wird sich auf die ganze Länge des Scheiteldurchschnittes *r n* verteilen. Ein Teil wird durch die Kappen und durch den Schlussstein, ein anderer Teil durch den Gurtquerschnitt übertragen. Man hat nun im Längsschnitte schätzungsweise eine durchschnittliche Höhenlage für den Horizontalschub als horizontale Linie *x x* anzunehmen, wobei man dem Gurte einen verhältnismässig grossen Anteil beizumessen hat, besonders wenn der Schlusspunkt stark gehoben ist. Überhaupt soll man die durchschnittliche Lage des Scheitelschubes lieber etwas tiefer als höher zur grösseren Sicherheit annehmen. Hat man in dieser Weise den Scheitelschub ausgeglichen und sodann den unteren Durchgangspunkt für den Schub angenommen, so betrachtet man wieder das Gewölbe ebenso, als wenn eine Tonnenform vorläge. Man denkt sich also an Stelle des Kreuzgewölbes eine der durchschnittlichen Druckrichtung entsprechende Tonnenfläche mit der gleichen Grundrissverteilung der Gewichte, die man wohl als ideelles Tonnengewölbe zu bezeichnen pflegt. Mit seiner Hülfe kann man sehr rasch zum Ziele gelangen, dem Vorwurfe einer gewissen Oberflächlichkeit lässt sich entgegensetzen, dass man einmal überhaupt bei Gewölben nicht mathematisch scharf vorgehen kann, und dass man es zweitens in der Hand hat, die Untersuchung ganz nach Belieben durch eingehendere Verfolgung der Druckübertragung weiter zu vertiefen.

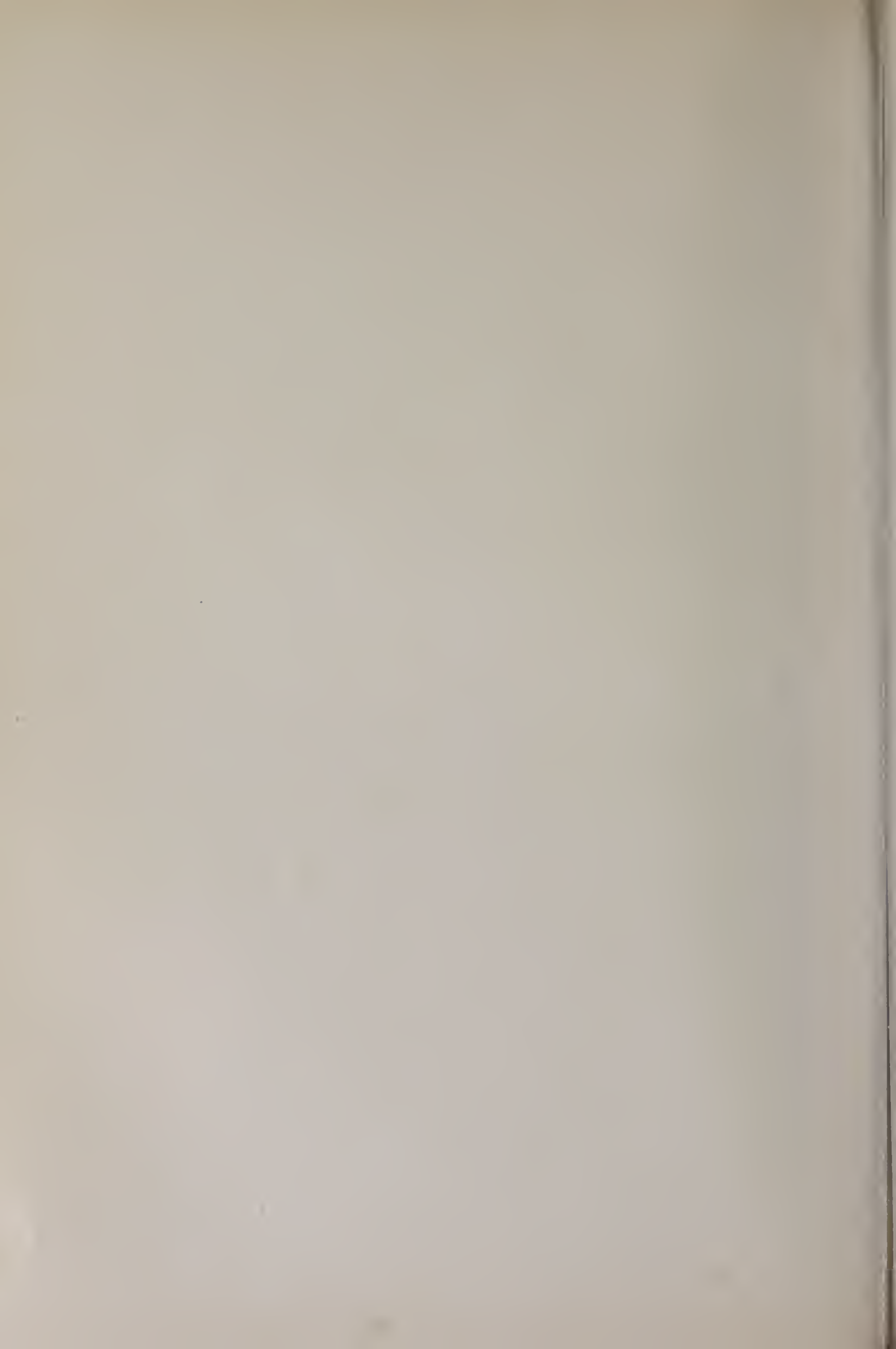
Schub überhöhter Kreuzgewölbe.

Liegt ein sehr stark überhöhtes Gewölbe (Fig. 364a im Schnitte und 364 im Grundriss) vor, so kann man gleichfalls ein ideelles Tonnengewölbe *d e* dafür annehmen und mit Hülfe des berechneten Gewichtes G die Schübe bestimmen. Dabei ist der Punkt *e* noch höher hinaufzulegen als sonst, weil vorauszusetzen ist, dass ein gewisses Kappenstück *C D s* im Grundrisse seinen Schub weiter oben dem Schildbogen zuführt (vergl. vorn S. 50). Bei grosser Überhöhung kann eine solche Benutzung der ideellen Tonne in der That etwas willkürlich werden und es ist

Tafel XXXIII.

Grosse des Widerlagsdruckes.





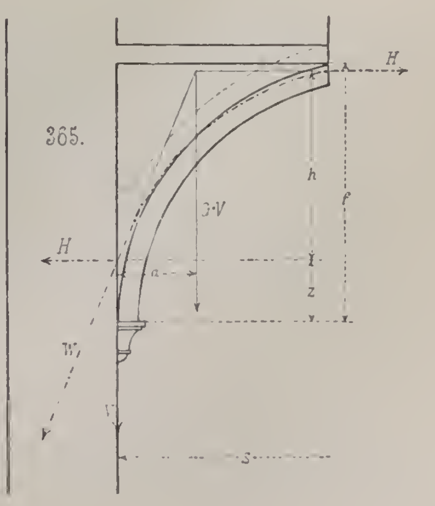
daher besser, wenigstens den auf den Schildbogen pressenden Kappenteil für sich zu betrachten. Man zeichnet für ihn die kleine ideelle Tonne d_1 e_1 mit dem Gewichte G_1 und hat für den übrigen Teil der Jochhälfte eine zweite grössere ideele Tonne d_1 e_1 mit dem entsprechenden Gewichte G_2 einzuführen. Auf diese Art trennt man von vornherein den Schub, der auf den Schildbogen bezw. die volle Wand kommt, von demjenigen, der dem Anfang zugeführt wird, was für die weiteren Untersuchungen der Widerlager oft erwünscht ist.

Ist man für wichtige Fälle auch hiermit noch nicht zufrieden, so ist es unbenommen, die Druckübertragung im ganzen Gewölbe mit beliebig gesteigerter Genauigkeit nach den weiter vorn bei den Gewölben gemachten Ausweisungen zu verfolgen.

Erläuterungen zur Tabelle über die Gewichte und Horizontalschübe einfacher Tonnen- und Kreuzgewölbe.

Wenngleich es nach dem Vorausgeschickten recht leicht ist, die Schübe der Gewölbe mit der erforderlichen Genauigkeit zu berechnen, so scheint es doch erwünscht, zu noch weiter gehender Erleichterung für die üblichsten Gewölbearten je nach Verschiedenheit von Pfeilhöhe, Wölbstärke und Baustoff eine Tabelle zusammenzustellen (vergl. Tabelle 1). Die Tabelle, welche auf Grund konstruierter Stützlinien und mit Anwendung der einfachen Formel $H \cdot h = G \cdot a$ (vergl. Fig. 365) ermittelt ist, gilt für symmetrisch gebildete Kreuzgewölbe von quadratischem oder schwach rechteckigem Grundrisse mit geringer oder kleiner Überhöhung. Sie ist für Gewölbe von beliebiger Feldgrösse brauchbar, da sie die Gewichte V o und Schübe H o in Einheitszahlen für je 1 qm Grundfläche angiebt. Diese Zahlen werden mit der Grundfläche (in qm) des auf dem betreffenden Widerlager lastenden Gewölbteiles (gewöhnlich eine Wölbhälfte) multipliziert, um für das Widerlager Vertikalbelastung und Horizontalschub zu liefern.

Die Gewichte und Schübe auf die Grundfläche zu beziehen, könnte zunächst etwas gewagt erscheinen, da bei verschieden grossen Gewölben gewisse Schwankungen in der Masse der Hintermauerung und der Bogenglieder entstehen; eine Untersuchung zeigte aber, dass sich diese Verschiedenheiten bei durchschnittlichen Wölbbildungen in sehr engen Grenzen bewegen, bei Angabe der Schübe ist ihnen durch Aufnahme zweier Werte Rechnung getragen. Für Gewölbe abweichender Gestaltung, die beispielsweise übermauerte Gurten oder einzelne Oberlasten haben, gilt die Tabelle natürlich nicht.



Die vorkommenden Längen (Hebelarm des Gewichtes u. dergl.) sind in Verhältniszahlen zur Spannweite oder Pfeilhöhe ausgedrückt. Als Spannung ist das Lichtmass zwischen den Wandfluchten oder, wenn solche in Frage kommen, zwischen den Schild- und Gurtbogen zu verstehen, als Pfeilhöhe dagegen die Höhe von der Grundfläche (Kapitäloberkante, wenn keine Stelzung vorliegt) bis zur Unterkante Kappe im Scheitel. Ist das Gewölbe überhöht, so ist eine mittlere Pfeilhöhe anzunehmen.

Die Tabelle scheidet die Gewölbe nach ihrer Höhenentwicklung in 5 Gruppen: I bis V mit einem Pfeilverhältnis von 1 : 8, 1 : 3, 1 : 2,

2:3 und 5:6. Jede Gruppe hat dieselben 6 Unterabteilungen a bis f, in welchen Material und Kappenstärke berücksichtigt sind. Für Gewölbe, die nicht genau in die Gruppen oder Abteilungen passen, wird man Werte einschalten können.

Die senkrechten Spalten enthalten:

V o = Gewicht von je 1 qm Grundrissfläche. In dasselbe sind die Kappen, vortretende Ziegelrippen oder Werksteinrippen mässiger Stärke, eine mässige Hintermauerung und ein unterer Putzauftrag von 1 bis $1^1/_2$ cm einbegriffen. Als Ziegelgrösse ist das deutsche Normalformat $25 \times 12 \times 6^1/_2$ cm vorausgesetzt und als Einheitsgewicht von Stein und Mörtel ist angenommen für ein cbm: 1600 kg bei gewöhnlichen Ziegeln, 1200—1300 kg bei sehr leichten porösen Ziegeln, (wobei für Bogen und Zwickel auf feste Ziegel gerechnet ist), 2000 kg für Sandstein und 2400 kg für Bruchstein in Kalkmörtel. Bei kräftigen Werksteinrippen und Gurtbogen ist ein angemessener Zuschlag zu machen.

Für die überfüllten Gewölbe unter f ist als Durchschnittsgewicht für Ziegelkappen, Füllung und Fussboden 1600 kg für 1 cbm vorausgesetzt. (Das Gewicht von 1 qm Grundfläche wechselt bei überfüllten Gewölben nach ihrer Grösse und kann daher nur für bestimmte Gewölbegrössen gegeben werden, vergl. die Beispiele in den letzten Spalten.)

a = Hebelarm von dem durch den Schwerpunkt gehenden resultierenden Gewichte des auf dem Widerlager ruhenden Gewölbestückes (z. B. Wölbhälfte). Es schwankt dieser Hebelarm, der von der Mauerflucht bezw. Schildbogenflucht zu messen ist, je nach Steilheit des Gewölbes zwischen $^1/_6$ und nahezu $^1/_4$ der ganzen Spannweite.

h = Hebelarm des Horizontalschubes oder die Pfeilhöhe der Stützkurve, bezw. ideellen Stütztonne. Darunter ist der Höhenunterschied zu verstehen zwischen dem oberen Horizontalschube und dem unteren Übertritte des Druckes in das Widerlager. Als Grenze des Widerlagers ist dabei die Wandflucht oder die senkrechte durch die Vorderfläche des Schildbogens gelegte Ebene angesehen. Dieses Mass h ist am wenigsten scharf festzustellen, da in demselben Gewölbe flachere und steilere Druckübertragungen möglich sind, man rechnet zur Sicherheit den Pfeil der Stützkurve nicht zu gross und bekommt dann in der Regel merklich geringere Höhen als diejenigen des Gewölbes, in der Tabelle schwankt h zwischen $^3/_4$ und $^9/_{10}$ des Gewölbepfeiles.

z = Höhe, in welcher der Widerlagsdruck die Flucht der Wand bezw. des Schildbogens durchschneidet. Diese Höhe ist gemessen von der Grundfläche des Gewölbes aufwärts, d. h. bei nicht gestelzten Gewölben von Oberkante Kapitäl bezw. Kämpfergesims. Für die Bestimmung der Widerlagsstärke ist diese Höhenlage erforderlich, über die Genauigkeit ihrer Bestimmung gilt das unter h Gesagte.

Ho = Horizontalschub für je 1 qm Grundrissfläche des auf dem Widerlager ruhenden Gewölbestückes z. B. einer Jochhälfte. Mit Rücksicht auf die möglichen Schwankungen sind hier zwei Werte angegeben, von denen der grössere mehr für kleine, der niedere mehr für grosse Gewölbe zutrifft.

Interessant ist es, das Verhältnis von Schub H o und Gewicht V o bei den verschieden hohen Gewölben zu vergleichen.

Nach der Tabelle verhält sich im Durchschnitte:

beim Pfeilverhältnis	1 : 8	— der Horizontalschub	zum	Gewicht	der	Hälfte	wie	2 : 1
„	„	1 : 3	„	„	„	„	„	„	„	3 : 4
„	„	1 : 2	„	„	„	„	„	„	„	3 : 7
„	„	2 : 3	„	„	„	„	„	„	„	1 : 3
„	„	5 : 6	„	„	„	„	„	„	„	1 : 4

Für oberflächliche Schätzungen kann man sich diese Verhältniszahlen merken, bei mittelhohen spitzbogigen Kreuzgewölben von etwa $^2/_3$ Pfeilhöhe ist also ein Schub

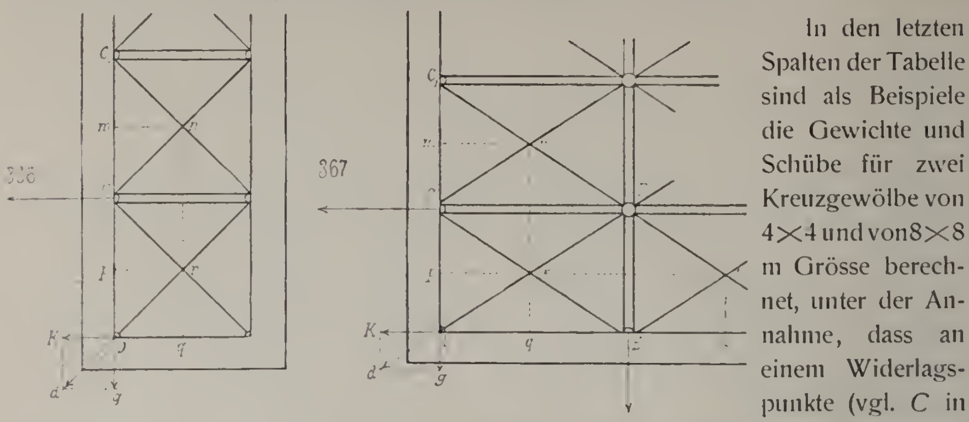
Tabelle 1.

Die Gewichte und Horizontalschübe der Gewölbe (s. Fig. 365).

Bezeichnung des Gewölbes	Gewicht von je 1 qm Grundrissfläche *Vo*	Hebelarm des resultierenden Gewichtes *a*	Hebelarm der Horizontalschübe *h*	Höhe des Widerlagsdruckes über Gewölbebeginn *Z*	Horizontalschub für je 1 qm Grundriss des lastenden Gewölbestückes *Ho*	Beispiel I. Gewölbe von 4.4 m Gewicht einer Hälfte *V*	Beispiel I. Schub *H*	Beispiel II. Gewölbe von 8.8 m Gewicht einer Hälfte *V*	Beispiel II. Schub *H*
I. Pfeilverhältnis 1 : 8.									
a. Kappen 1/2 Stein aus porösen Ziegeln	200				360—400	1600	3200	6400	11500
b. 1/2 Stein feste Ziegel oder 3/4 Stein porös	270	0,22 – 0,23 s*	0,90 f**		500—550	2160	4400	8600	16000
c. 3/4 Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	370	rd 2/9 s	oder	1/8 bis 1/6 f	700—750	2960	6000	11800	22400
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	500		1/10 s		950—1000	4000	8000	16000	30400
e. 30 cm dick Bruchstein	850				1600—1700	6800	13600	27200	51000
f. Überfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,20 s = 1/5 s			– –	5800	11000	26000	46000
II. Pfeilverhältnis 1 : 3.									
a. Kappen 1/2 Stein aus porösen Ziegeln	230				160—180	1840	1440	7400	5100
b. 1/2 Stein feste Ziegel oder 3/4 Stein porös	310	0,19 – 0,21 s	0,85 – 0,75 f		220—240	2480	1920	9900	7000
c. 3/4 Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	420	rd 1/5 s	oder	1/6 bis 1/4 f	300—330	3360	2640	13400	9600
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	570		3/10 – 1/4 s		420—450	4560	3600	18200	13400
e. 30 cm dick Bruchstein	1000				710—750	8000	6000	32000	22700
f. Überfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,17 s = 1/6 s			—	7300	5200	37500	23000
III. Pfeilverhältnis 1 : 2.									
a. Kappen 1/2 Stein aus porösen Ziegeln	260				110—120	2080	960	8300	3500
b. 1/2 Stein feste Ziegel oder 3/4 Stein porös	350	0,17 – 0,20 s	0,80 – 0,70 f		140—160	2800	1280	11200	4500
c. 3/4 Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	480	= 1/6 – 1/5 s	oder	1/5 bis 1/3 f	190—220	3840	1760	15400	6100
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	700		2/5 – 1/3 s		280—320	5600	2560	22400	9000
e. 30 cm dick Bruchstein	1200				480—550	9600	4400	38500	15300
f. Überfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,16 s			—	8000	3800	41600	17600
IV. Pfeilverhältnis 2 : 3.									
a. Kappen 1/2 Stein aus porösen Ziegeln	290				90—100	2320	800	9300	2900
b. 1/2 Stein feste Ziegel oder 3/4 Stein porös	380	0,17 – 0,20 s	0,80 – 0,72		110—130	3040	1040	12200	3500
c. 3/4 Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	530	= 1/6 – 1/5 s	oder	1/5 bis 1/4 f	160—180	4240	1440	17000	5100
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	750		rd 1/2 s		220—250	6000	2000	24000	7000
e. 30 cm dick Bruchstein	1300				400—430	10400	3440	41500	12800
f. Überfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel		0,16 s			—	10500	3500	57900	17400
V. Pfeilverhältnis 5 : 6 bis 1.									
a. Kappen 1/2 Stein aus porösen Ziegeln	340				80—90	2720	720	10900	2600
b. 1/2 Stein feste Ziegel oder 3/4 Stein porös	450		0,80 – 0,75 f		100—110	3600	880	14400	3200
c. 3/4 Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	650	0,16 – 0,19 s	oder	1/5 bis 1/4 f	150—160	5200	1280	20800	4800
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	900		rd 2/5 s		210—230	7200	1840	28800	6700
e. 30 cm dick Bruchstein	1500				350—370	12000	2960	48000	11200
f. Überfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel		0,15 s			—	13000	3000	77800	17500

* s = Spannweite, ** f = Pfeilhöhe.

zu erwarten, der ungefähr gleich $^1/_3$ des betreffenden Gewölbegewichtes (einer Hälfte) ist und der in etwa $^1/_4$ der Pfeilhöhe in die Wand übertritt.



In den letzten Spalten der Tabelle sind als Beispiele die Gewichte und Schübe für zwei Kreuzgewölbe von 4×4 und von 8×8 m Grösse berechnet, unter der Annahme, dass an einem Widerlagspunkte (vgl. *C* in Figur 366) zwei benachbarte Felder zusammentreffen. Es hat dann die belastende Fläche *m n r p* den Inhalt eines halben Gewölbes.

Der Schub auf eine Ecke *D* der Wand (Fig. 366) wird durch das kleinere Gewölbestück *p r q D* erzeugt und ist demgemäss merklich geringer. Man geht genügend sicher, wenn man in jeder der beiden Richtungen *D k* und *D g* den Schub halb so gross annimmt wie denjenigen auf *C*. Statt der Seitenschübe *D k* und *D g* kann man natürlich den Diagonalschub *D d* einführen in der Richtung der Rippe. Derselbe ist immer kleiner als der Schub auf *C* (7 : 10).

Bei rechteckigen Feldern (Fig. 367) wird der Schub auf die Punkte *C* und *E* verschieden. Auf beiden Punkten lastet zwar ein halbes Feld *m n p r* bezw. *r t q u*, aber die Spannweiten *C F* und *E F* sind ungleich, infolgedessen hat das Gewölbe bei gleicher Pfeilhöhe in der kurzen Richtung ein schlankeres Pfeilverhältnis und daher einen kleineren Schub. An der Ecke *D* fällt bei nicht überhöhten Gewölben auch beim Rechtecke die Schubrichtung in die Diagonale. Die Tabelle giebt für sehr gestreckte Felder keine genauen Werte mehr, Gewichte und Schübe werden dann bei der Längsrichtung ein wenig zu klein und bei der Querrichtung reichlich gross. Weichen rechteckige Felder aber nicht gar zu weit vom Quadrate ab, so kann man immerhin die Tabelle auf sie anwenden, für das Pfeilverhältnis hat man dabei immer die Spannweite des Wölbfeldes in der Richtung des gesuchten Schubes in Betracht zu ziehen.

3. Ermittelung der Stützlinie und der Spannungen im Widerlager.

Sicherheit gegen Gleiten, Umsturz und Zerdrücken.

Hat man durch Berechnung, Konstruktion oder die Tabelle I den Wiederlagsdruck W eines Gewölbes oder was dasselbe sagt, seine beiden Seitenkräfte H und V (vergl. Fig. 368) gefunden, so ist danach die Widerlagsfähigkeit des Stützkörpers zu untersuchen. Derselbe muss gegen Gleiten, Umsturz und Zerdrücken gesichert sein.

Gleiten der Widerlager.

Ein Gleiten oder Fortschieben des Widerlagers ist bei den üblichen Baustoffen und Konstruktionen selten zu fürchten. Es kann eintreten, wenn bei weichem Mörtel der Winkel zwischen Druckrichtung und Fuge kleiner ist als etwa 60°, bei erhärtetem Mörtel, wenn dieser Winkel unter 30 bis 45° beträgt. Durch veränderte Fugenlage, weniger gut durch Dollen kann man das Gleiten verhüten. Vorsicht ist den Isolierschichten aus weichen, harzigen Stoffen entgegenzubringen, da dieselben schon ein Gleiten ganzer Mauerkörper veranlasst haben. Solche Isolierfugen dürfen nur da angeordnet werden, wo der Druck fast senkrecht gegen die Fuge trifft, ausserdem ist durch Wahl der Stoffe und Zusätze dafür zu sorgen, dass die Isoliermasse nicht zu weich oder glatt bleibt.

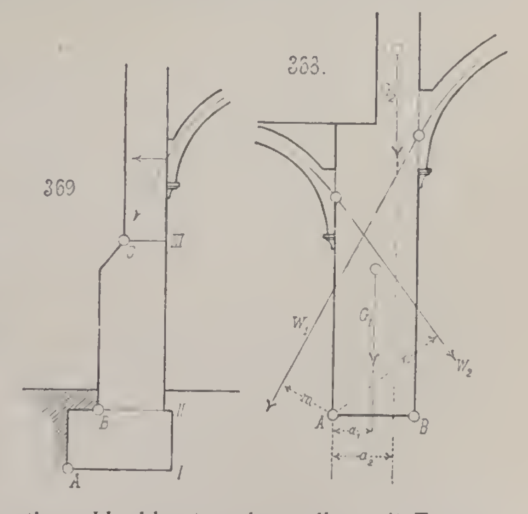
Umsturz.

Die Sicherheit gegen Umsturz ist leicht zu prüfen. Man stellt für die äussere, gefährdete Kante (A in Fig. 340) die Momentengleichung auf. Dabei muss sich ergeben, dass die Summe der im günstigen Sinne drehenden Momente (Kraft mal Hebel) grösser ist als die Summe der in umgekehrter Richtung drehenden Momente. Für einen einfachen Fall ist die Untersuchung auf Umsturz bereits Seite 127 (Fig. 340) besprochen. — Für den in Fig. 368 gezeichneten, von beiden Seiten geschobenen Mauerkörper würde ein Umsturz um die Kante *A* nicht eintreten, solange: $G_1 \cdot a_1 + G_2 \cdot a_2 + W_2 \cdot n > W_1 \cdot m$ ist.

Will man untersuchen, ob nicht um die andere Kante *B* ein Umsturz erfolgen könne, so kann man auch für diese die Momente aufsuchen.

Statt der Widerlagskräfte W_1 und W_2 hätte man natürlich auch deren horizontale und vertikale Seitenkräfte in Rechnung setzen können, ähnlich wie bei Fig. 340.

Ein Umsturz kann leicht erfolgen an der Fundamentsohle (Fläche *I* in Fig. 369, Kippkante *A*) sodann an der Aufstandsfläche vom Mauerkörper auf das erbreiterte Fundament (*II*, Kippkante *B*), und schliesslich bei jeder plötzlichen Querschnittseinziehung (z. B. III, Kippkante C). Für diese Stelle würde man die Standfähigkeit zu untersuchen haben. Zeigt sich, dass an einer Stelle das Umsturzmoment überwiegt, so wird sich ein Aufkippen des darüber befindlichen Mauerteiles nur durch besondere Mittel verhüten lassen, dahin gehört ein Verklammern der Mauer an der Rückseite. Auch das feste Anhaften eines zugfesten Mörtels kann das Aufkippen hindern, in der That wird manche gefährdete Mauer dadurch gehalten. Mit der Zugfestigkeit des Mauerwerkes darf man bei derartigen Hochbauten aber selbst mit Zementmörtel nicht sicher rechnen, da schon kleine vielleicht gar nicht sichtbare Haarrisse, die durch die Art der Ausführung, Verdrückungen, Temperaturspannungen usf. entstanden sind, den Zusammenhang aufheben können. An der Fundamentsohle



kann ein Festhalten der Mauer überhaupt nicht statthaben, wenn hier das Umsturzmoment zu gross wird, könnte höchstens, die seitlich gegengelagerte Erde sich nützlich erweisen, die aber ein nur wenig zuverlässiger Faktor ist.

Festigkeit und zulässige Pressung.

Die Sicherheit gegen Umsturz genügt allein noch nicht; die Druckpressung darf an keiner Stelle die dem Baustoffe entsprechende zulässige Grenze überschreiten. Bei Untersuchungen der in Frage kommenden Stoffe auf ihre Festigkeit hat man nachfolgende Werte erzielt.

	Zermalmt bei — kg auf 1 qcm Druckfläche	Abgeschert bei kg auf 1 qcm Scherfläche
Granit, Diorit, Syenit, Basalt	500—1800 kg und mehr	60—100 kg
guter Kalkstein, Dolomit, Marmor	400—1000 „	30—70 „
gewöhnlicher Sandstein	150—400 „	10—20 „
besonders fester Sandstein	300—900 „	20—40 „
leichter Kalktuff	50—200 „	10—30 „
Klinkerziegel	250—700 kg	40—60 kg
gute Mauerziegel	100—200 „	15—30 „
gewöhnliche Mauerziegel	60—100 „	—
poröse oder Lochsteine	40—100 „	—
Zementmörtel	100—200 kg	18—30 kg
guter Kalkmörtel, erhärtet	40—90 „	

Die Scherfestigkeit der Sandsteine und Kalksteine kann in der Richtung scharf hervortretender Lagerflächen merklich kleiner sein. Die Zugfestigkeit der Steine beträgt meist weniger als $^1/_{20}$ der Druckfestigkeit, die stark wechselnde Biegungsfestigkeit wird wohl zu $^1/_6$ der Druckfestigkeit angenommen.

Mit Rücksicht auf Fehler des Materials (Risse und Sprünge) und unvollkommene Auflagerung der Druckflächen muss man mit der „zulässigen Beanspruchung" weit hinter der Druckfestigkeit zurückbleiben. Besonders soll man Steine mit geringer Scherfestigkeit nicht zu stark belasten, da bei schlechter Druckübertragung leicht ein Abplatzen eintreten kann. Die Scher- oder Schubfestigkeit ist aus diesem Grunde mit in die Tabelle aufgenommen. Da die Scherfestigkeit in der Richtung des Spaltes geringer ist, pflegt man einige Steinarten ungern auf den Spalt zu stellen, jedoch braucht man bei ausgewählten fehlerlosen Stücken aus geeigneten Brüchen nicht zu ängstlich zu sein, wie zahllose Beispiele des Mittelalters erweisen.

Als zulässige Beanspruchung für Stein wird gewöhnlich $^1/_{10}$ der Festigkeit angenommen.

Für Mauerwerk muss die Festigkeit von Mörtel und Stein gleichzeitig berücksichtigt werden. Für Kalk- oder Sandsteine mit Weisskalk, Zement oder Blei versetzt, pflegt man je nach dem Stein 15 bis 30 kg auf das qcm zuzulassen, für Bruchstein in Kalkmörtel 5 kg, nach völliger Erhärtung ev. 7—10 kg, für Ziegelmauerwerk in Kalkmörtel 7 kg, für Ziegel in Zement 12 kg, bei sehr gutem Materiale 14—20 kg. Da man bei Kirchen Pfeiler und Wände sorgfältig auszuführen pflegt, kann man, wenn die Gewölblast erst nach genügender Erhärtung

des Mörtels hinzutritt, gute Ziegel in Kalkmörtel unbedenklich bis 10 kg, in Zement bis 20 kg als grösste Kantenpressung beanspruchen, vorausgesetzt, dass nicht behördliche Bestimmungen niedere Grenzen setzen. Alte Werke zeigen oft weit höhere Pressungen, 20 bis 30 kg bei Ziegelstein und 30 bis 50 kg bei Werkstein sind nicht selten.

Es ist überraschend, wie stiefmütterlich von den meisten modernen Statikern die uralten Baustoffe Stein und Kalkmörtel gegenüber den Neulingen Eisen und Zement behandelt werden. Es spricht sich das nicht nur in der Vernachlässigung der altbewährten monumentalen Stoffe bei der Festigkeitsforschung aus, sondern auch in dem Grade der erlaubten Beanspruchung. Während man bei Zement und Eisen dazu neigt, an eine kaum noch zu verantwortende Grenze zu gehen, wird den zuverlässigen alten Baustoffen oft nur ein geringer Prozentsatz derjenigen Beanspruchung zugestanden, die sich durch Jahrhunderte alte Proben grössten Massstabes überall bewährt hat.

Der in der Praxis stehende oder gar mit den Bauwerken früherer Zeiten näher bekannte Hochbautecknikеr muss geradezu verblüfft werden durch die 1889 von einem Ausschusse des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines veröffentlichte Aufstellung über die zulässige Druckbeanspruchung von Ziegel- und Bruchsteinmauerwerk. Demnach darf 1 qcm beansprucht werden bei Mauerstärken über 45 cm und Pfeilerdicken über $^1/_6$ der Höhe mit 5 kg bei Ziegeln mit Weisskalkmörtel, bei Ziegeln und Zementkalk 7,5 kg und bei Ziegeln mit Zementmörtel 10 kg. Für sog. geschlemmte Ziegel mit Zementkalkmörtel wird 9 kg genehmigt. Für Mauern unter 45 cm oder Pfeilerstärke von $^1/_6$ bis $^1/_8$ der Höhe werden diese 4 Werte verringert auf 2,5, 5, 7,5 und 8 kg. Bei Pfeilern von $^1/_8$ bis $^1/_{12}$ Höhenverhältnis sind den beiden letzteren Mauerarten noch 5 bezw. 7,5 kg zugebilligt, während die ersteren ganz in Fortfall kommen. Für Pfeiler, die schlanker sind als 1 : 8 sind demnach Ziegelsteine in „Kalkmörtel" nicht statthaft. Was sagen dazu die Pfeiler unserer norddeutschen Backsteinkirchen? — Demgegenüber sei hier empfohlen, Ziegelmauerwerk mit Kalkmörtel bei zentrischer Drucklage ruhig mit der üblichen Beanspruchung von 7 kg oder selbst etwas darüber zu beanspruchen, bei exzentrischer Drucklage und guter Ausführung aber auch bis zu etwa 10 kg Kantenpressung zuzulassen. Nur soll man diese Beanspruchungen noch nicht voll eintreten lassen, solange der Mörtel noch weich ist. In den ersten Wochen soll man dem Kalkmörtel nur $2^1/_2$–5 kg zumuten und besonders starke exzentrische Pressungen vermeiden.

Einen mässig guten Baugrund als Lehm oder Sand pflegt man bis $2^1/_2$ oder 3 kg auf das qcm zu belasten, besonders guten Baugrund bis 5 kg, auch hier lassen sich bei alten Werken (z. B. Turm zu Ulm) weit höhere Pressungen von 10 kg und mehr nachweisen. Bei nachgiebigem Boden ist es von grösster Wichtigkeit, die Fundamentbreiten so auszugleichen, dass möglichst unter allen Bauteilen der Boden die gleiche Belastung erfährt, da sonst verschiedenes Setzen unvermeidlich ist.

Lage der Stützlinie.

Wenn der resultierende Druck inmitten der Querschnittsfläche angreift, so verteilt er sich gleichmässig über dieselbe. Die Beanspruchung der Flächeneinheit ist sodann durch Division des Druckes durch die Fläche ohne weiteres zu finden. Ruht z. B. mitten auf einem Pfeiler von $^1/_2$ qm oder 5000 qcm Grundfläche und einem Eigengewichte von 6000 kg eine Last von 11 500 kg, so ergiebt sich an der Unterfläche des Pfeilers eine Pressung von $(11\,500 + 6000) : 5000 = 3^1/_2$ kg auf 1 qcm.

Nun geht aber bei Wölbwiderlagern der Druck selten gerade durch die Mitte des zu untersuchenden Querschnittes, er wird sich mehr oder weniger einer Kante nähern. Je dichter aber die Mittellinie des Druckes an eine Kante heran-

rückt, um so mehr wächst hier die Pressung, während sie an der entgegengesetzten Seite im gleichen Verhältnisse abnimmt.

Lage des resultierenden Druckes in einem Querschnitt.

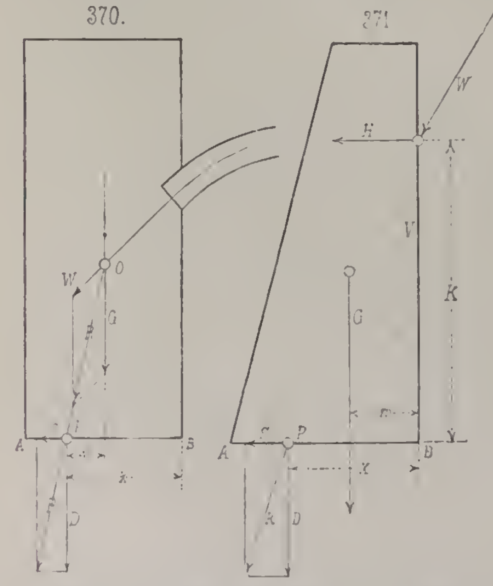
Um die Verteilung der Spannungen auffinden zu können, ist es nötig, dass man den Durchgang der Drucklinie durch den betreffenden Querschnitt ermittelt, was sich auf rechnerischem oder zeichnerischem Wege leicht vollführen lässt.

1. Ermittelung durch Zeichnung.

1. Graphisches Verfahren (Fig. 370). Um Lage und Grösse des Druckes auf die Fläche *A B* zu finden, setzt man das Gewicht des darüber liegenden Widerlagskörpers G mit dem Wölbdruck W vom Schnittpunkte *O* aus nach dem Parallelogramme der Kräfte zusammen. Dadurch findet man die Grösse und Richtung des gesuchten Druckes R und seinen Durchgang *P* durch die Fläche *A B*. Von dem schrägen Drucke R kommt nur die senkrechte Seitenkraft D als eigentlicher Fugendruck in Frage, während der wagerechte Teil S durch die Reibung der Schichten auf einander aufgenommen wird.

2. Ermittelung durch Rechnung.

2. Rechnerisches Verfahren (Fig. 371). Man führt nicht den Wölbdruck sondern seine beiden Seitenkräfte H und V ein und stellt für den gesuchten Druckpunkt P, welcher den unbekannten Abstand x von B hat, die Momentengleichung auf, dieselbe lautet im vorliegenden Falle:



1) $V \cdot x + G \cdot (x - m) = H \cdot k$.

Daraus lässt sich die Länge x ermitteln und somit die Lage des Druckmittelpunktes *P* festlegen. Die Grösse der Druckkraft R geht aus derjenigen ihrer Seitenkräfte D und S hervor, diese aber sind leicht zu ermitteln. D muss die Summe aller senkrechten Kräfte sein, hier also:

2) $D = G + V$.

S muss gleich der allgebraischen Summe der horizontalen Kräfte sein, hier nur H, also:

3) $S = H$.

Treten mehr Kräfte auf als bei dem vorigen Beispiele, so sind sie beim graphischen oder analytischen Verfahren in der gleichen Weise mit hinzuzuziehen. Der Gang ist immer der gleiche, möge eine Wand, ein Strebepfeiler oder Mittelpfeiler zu untersuchen sein, möge ein einzelnes Gewölbe oder eine beliebig grosse Zahl von Wölbungen in verschiedener Höhe und zu verschiedenen Seiten wirken.

Beispiel: Ein prismatischer Strebepfeiler von 10 m Höhe, 1 m Breite und 2 m Grundrisslänge in der Richtung des Schubes, der aus Bruchstein von 2400 kg Gewicht für 1 cbm gemauert ist, nimmt in 8 m Höhe einen Gewölbedruck auf, dessen Schub H sich auf 3000 und dessen senkrechte Last V sich auf 9600 kg berechnet. Die Schwerkraft G hat von der Innenkante einen Abstand *m* von 1 m. Die Momentengleichung für den gesuchten Punkt P lautet:

$$9600 \cdot x + G\,(x - 1{,}00) = 3000 \cdot 8{,}00.$$

Das Pfeilergewicht ist: $G = 10{,}00 \cdot 2{,}00 \cdot 1{,}00 \cdot 2400 = 48\,000$ kg.

$$9600 \cdot x + 48\,000 \cdot x - 48\,000 = 3000 \cdot 8{,}05$$
$$57\,600 \cdot x = 72\,000$$
$$x = 1{,}25 \text{ m.}$$

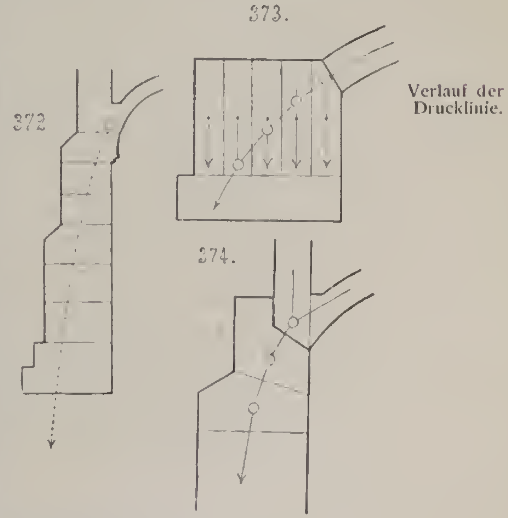
Der Mittelpunkt des Druckes ist also von der Innenkante 1,25 m, von der Aussenkante 75 cm entfernt, vom Schwerpunkt 25 cm.

Die Grösse des Druckes ist in senkrechter Richtung:

$$D = G + V = 48\,000 + 9600 = 57\,600 \text{ kg.}$$

in horizontaler Richtung: $S = H = 3000$ kg.

Der horizontale Teil S ist verhältnismässig sehr klein, er wird mit voller Sicherheit durch den Reibungswiderstand aufgenommen. Der senkrechte Teil D liefert die in Frage kommende Pressung. Ginge der Druck durch die Mitte, so wäre die Pressung überall $57\,600 = 20\,000 = 2{,}88$ kg auf 1 qcm. Bei der vorliegenden Verschiebung des Druckes wird aber die Pressung an der Aussenkante grösser, wie etwas später gezeigt werden wird.



Verlauf der Drucklinie.

In der beschriebenen Weise kann man die Lage des Druckes in jedem beliebigen Querschnitt feststellen. Bei gerade aufsteigenden Pfeilern oder Mauern genügt es, die Aufstandsfläche auf dem Fundament oder die Unterfläche des Fundamentes zu untersuchen. Weist der Stützkörper oben Einziehungen auf (Höhe *III* in Fig. 369), so wird man auch unter diesen die Lage des Druckes zu prüfen haben. Will man die Mittellinie des Druckes in ihrem ganzen Verlauf von oben bis unten darstellen, so nimmt man nach Art der Figur 372 eine wagerechte Streifenteilung vor und setzt für jede Fläche alle über ihr wirkenden Kräfte zu einer resultierenden Druckkraft zusammen. Verbindet man die Durchgangspunkte des Druckes durch eine Kurve, so stellt diese die Drucklinie dar.

Bei grosser Tiefe der Widerlager kann sich statt der wagerechten eine senkrechte Streifenteilung empfehlen (Fig. 373), es wird der Wölbdruck nacheinander mit der Last der Streifen zusammengesetzt. Je nach Gestalt des Widerlagers können auch noch weitere Streifenteilungen gewählt werden, z. B. die in Fig. 374 dargestellte.

Für einfache Fälle kann man aus der Lage der Drucklinie schon darauf schliessen, ob die Widerlagsstärke genügt oder nicht. Erscheint letztere zu schwach, so erbreitert man sie und sucht die Stützlinie von neuem. Für wichtige Fälle muss man sich ausserdem noch Rechenschaft von der Grösse und Verteilung der Spannungen geben.

Verteilung der Spannungen, Kern des Querschnittes.

Kehren wir wieder zu einem einzelnen Querschnitte zurück, für den die Lage und Grösse des resultierenden Druckes in der vorbeschriebenen Weise bestimmt sei, so sind zwei Fälle zu unterscheiden, es kann der Druck entweder in den Kern

des Querschnittes liegen oder ausserhalb desselben, was das heisst, soll sogleich erläutert werden.

Geht der Druck durch die Mitte oder richtiger durch den Schwerpunkt des Querschnittes, so verteilt er sich gleichmässig über die ganze Fläche, was in Fig. 375 durch die kleinen gleich langen nach oben gerichteten Pfeile angedeutet wird (dieselben sollen nicht die nach unten gekehrten Pressungen, sondern die ebenso grossen von der Unterlage ausgeübten Gegenpressungen veranschaulichen). Jedes qcm bekommt den Druck: p = D : F, worin D den Gesamtdruck in kg, F die Querschnittsgrösse in qcm bezeichnet.

Rückt der Druck D von dem Schwerpunkte etwas fort und zwar zu einem näher bei *A* gelegenen Punkte (Fig. 376), so wächst bei *A* die Pressung, während sie sich bei *B* vermindert. Im Schwerpunkte selbst behält sie den durchschnittlichen Wert p = D : F.

Kern des Querschnittes.

Bewegt sich D noch weiter, so muss schliesslich der Fall eintreten, in welchem die Pressung bei *B* zu Null wird (Fig. 377). Diese Lage des Druckes ist von Wichtigkeit, da man sie in den meisten Fällen nicht gern überschreitet, denn wenn D noch weiter fortrückt, so breitet sich der Druck nicht mehr über die ganze Fläche aus. Bei einem Quadrate oder Rechtecke (Grundriss 378) liegt dieser Grenzpunkt *b* in ein Drittel der ganzen Länge *A B*. Würde der Druck D sich umgekehrt der Kante *B* nähern, so würde bei A die Pressung zu Null, wenn D nach dem Punkte *a* gerückt wäre. Bei einer Verschiebung in seitlicher Richtung würden sich in derselben Weise die Grenzpunkte *f* und *g* ergeben. Verbindet man die Punkte *a b f g*, so entsteht ein Viereck, welches man als Kern des Querschnittes bezeichnet. Länge und Breite des Kernes ist ein Drittel der Länge bezw. Breite des Rechteckes. Nur wenn der resultierende Druck in dem Kerne angreift, bekommt jedes Stück der Fläche eine Druckpressung, soll solches erzielt werden, so darf sich also der Druck sowohl in der Längs- als in der Breitenrichtung nur im mittleren Drittel bewegen. Wenn er in schräger Richtung abweicht, so ist sein Spielraum noch viel geringer, was besonders zu beachten ist; in der Diagonale beträgt die Kernweite sogar nur $^1/_6$ der Diagonallänge.

Der Kern eines Kreises ist wiederum ein Kreis, dessen Durchmesser $^1/_4$ des grossen ist. (Fig. 379).

Der Kern des Dreieckes ist ein ähnliches, kleineres Dreieck, das nach den Längen $^1/_4$, nach dem Inhalte $^1/_{16}$ des grossen ausmacht. Die Spitzen des Kerndreieckes liegen auf den Mitten der drei Mittellinien des grossen Dreieckes (Fig. 380).

Wenn der Druck an die Grenze des Kernes rückt, so wird beim Rechtecke und Kreis die grösste Kantenpressung doppelt so gross wie die Durchschnittspressung p; beim Dreiecke dagegen wird die grösste Kantenpressung nur das Eineinhalbfache der Durchschnittspressung.

Zwei weitere Grundrisse, die bei einem Zusammenwirken von Mauer und Strebepfeiler in Frage kommen können, sind in den Figuren 381 und 382 unter Eintragung der Hauptmasse für die Kerngrösse wiedergegeben.

Will man für irgend einen Grundriss einen Grenzpunkt des Kernes finden, z. B. den Punkt *P* in Fig. 382, so verwendet man die Formel:

$$4)\; w = \frac{J}{F \cdot z}$$

Darin ist w der Abstand des gesuchten Punktes vom Schwerpunkte, J das Trägheitsmoment auf die Schwerpunktsachse YY, F der Inhalt der ganzen Fläche und z der Abstand der pressungslosen Linie (neutrale Faser) vom Schwerpunkte. Mit dieser Formel kann man sich für einen beliebigen Querschnitt die Haltpunkte der Kernfigur aufsuchen.

Druck innerhalb des Kernes.

Liegt der Druck D weder auf der Kerngrenze noch im Schwerpunkte, sondern in irgend einem anderen Punkte der Kernfläche — vergl. Fig. 378 —, so muss man sich die pressungslose neutrale Faser in einem Punkte O ausserhalb der Fläche liegend denken. Kann man die Lage dieses Punktes O ermitteln, so kennt man die ganze Verteilung des Druckes, denn man braucht dann nur über dem Schwerpunkte s die durchschnittliche Pressung p nach einem bestimmten Massstabe aufzutragen (z. B. 1 kg = 1 mm oder 1 kg = 5 mm) und durch den Endpunkt von p eine Verbindungslinie nach O zu ziehen. Die Höhenlage dieser Linie über der Grundfläche AB bezeichnet an jedem Punkte die Grösse der Pressung auf 1 qcm.

Die Lage der neutralen Faser O kennt man, wenn man deren Abstand z vom Schwerpunkte kennt, diesen findet man aus Gleichung 4), die nach z aufgelöst lautet:

$$4a)\; z = \frac{J}{F \cdot w}$$

Darin ist wieder J das Trägheitsmoment, F die Fläche und w der Abstand der Kraft D vom Schwerpunkte. Das Trägheitsmoment bezogen auf die Schwerpunktsachse YY ist für die in Frage kommenden Grundrisse das nachfolgende:

für das Rechteck (Fig. 378) $J = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$;

für das Quadrat (gerade oder übereck) $J = \frac{1}{12} \cdot b^4$;

für den Kreis (Fig. 379) $J = \frac{\pi}{64} \cdot D^4$ oder: $0{,}049 \cdot D^4$;

für das Dreieck (Fig. 380) $J = \frac{1}{36} \cdot b \cdot h^3$;

für das regelmässige Achteck $J = 0{,}055 \cdot d^4$;

für den Grundriss Fig. 381 $J = 1{,}083 \cdot a^4$ (auf die xx Achse $J = 2\frac{1}{3}\, a^4$),

für den Grundriss Fig. 382 $J = 3{,}018 \cdot a^4$ (auf die xx Achse $J = 2\frac{5}{12}\, a^4$).

Beispiel: Bei dem auf vorletzter Seite besprochenen Beispiele — Druck auf die Grundfläche eines Strebepfeilers — war als durchschnittliche Pressung p = 2,88 kg ermittelt. Die Änderung dieser Pressung nach den Kanten zu war noch nicht aufgesucht, jetzt ist sie nach der gegebenen Formel 4a zu finden. Der Durchgangspunkt P (Fig. 370) hatte sich bei diesem Beispiele in einem Abstand x = 1,25 m von der Innenkante B ergeben, das ist aber 25 cm links von der Mitte oder dem Schwerpunkte, es ist also w = 25, ferner war die Grundfläche F = 200 · 100 = 20000 qcm und $J = \frac{1}{12}\, b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 200 \cdot 200 \cdot 200 = 66\,666\,667$ also ist $z = \frac{66\,666\,667}{20000 \cdot 25}$

$$z = 133 \text{ cm}$$

Diese Länge z trägt man rechts von der Mitte (vergl. Fig. 376) ab, von dem Endpunkte *O* zieht man in der angegebenen Weise die schräge Linie *O K* und kann nun die Grösse der Pressung an jedem Punkte abmessen.

Will man das Zeichnen umgehen, so kann man die Pressung an einem beliebigen Punkte unmittelbar durch Anwendung der nachstehenden Formel durch Rechnung auffinden:

$$5)\ p_1 = \frac{D}{F} \pm \frac{D \cdot w \cdot c}{J}.$$

Darin ist wieder: D der resultierende Druck, w der Abstand desselben vom Schwerpunkte, F der Flächeninhalt, J das entsprechende Trägheitsmoment und schliesslich c der Abstand des auf seine Pressung zu untersuchenden Punktes von der Schwerpunktsachse. Das Zeichen + ist für die stärker, das Zeichen — für die schwächer gedrückte Seite zu verwenden.

Beispiel: Es werde wieder das vorige Beispiel benutzt, in welchem die rechteckige Grundfläche von b = 100 cm Breite und h = 200 cm Länge einen Gesamtdruck D = 57600 kg bekommt, der in w = 25 cm Abstand vom Schwerpunkte angreift. Das Trägheitsmoment auf die Querachse war bereits zu 66666667 = J berechnet.

Soll die grösste Pressung p_1 für die Aussenkante gefunden werden, so ist für diese der Abstand c vom Schwerpunkt = 100 cm also:

$$p_1 = \frac{57600}{20000} + \frac{57600 \cdot 28 \cdot 100}{66666667} = 2{,}88 + 2{,}16 = 5{,}04 \text{ kg}.$$

Die grösste Kantenpressung beträgt also rund 5 kg auf 1 qcm, die man bei der geplanten Ausführung des Strebepfeilers in Bruchstein mit Kalkmörtel als zulässig erachten kann.

Den Druck an der Innenkante findet man gerade so bei Anwendung des negativen Vorzeichens zu $p_1 = 0{,}72$ kg. Die Pressung noch für weitere Stellen zu berechnen hat keinen Wert, da man ja weiss, dass sie von der Innenkante bis zur Aussenkante gleichmässig wächst.

Druck ausserhalb des Kernes.

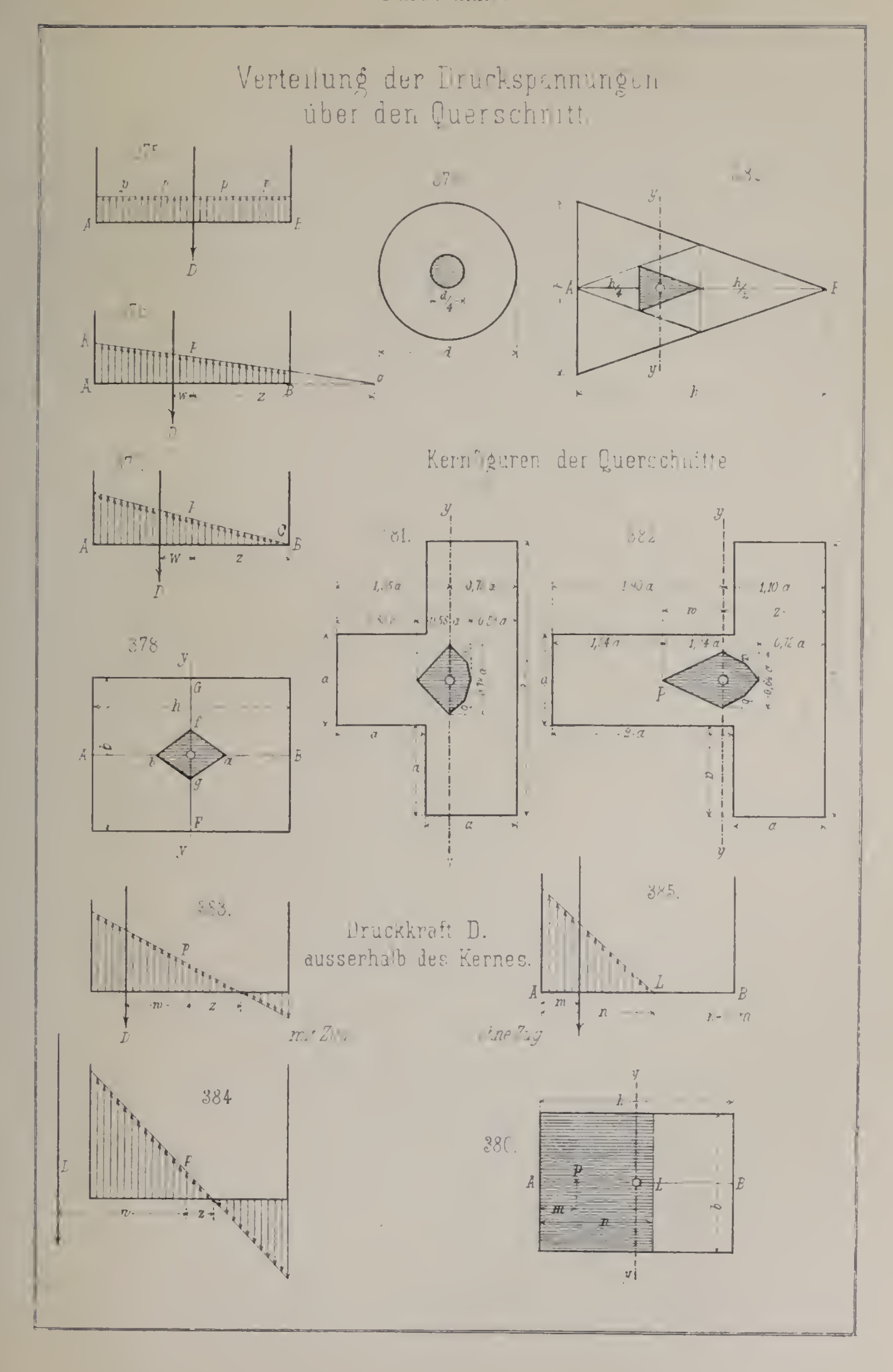
Wenn die resultierende Druckkraft D ausserhalb des Kernes liegt, so rückt die pressungslose Linie in den Querschnitt hinein (*O* in Fig. 383). Dabei ergeben sich an der Kraftseite Druckpressungen, an der entgegengesetzten Seite aber Zugspannungen. An der Stelle des Schwerpunktes herrscht nach wie vor der durchschnittliche Druck p = D : F, der grösste Kantendruck ist bei symmetrischen Grundrissen (Rechteck, Kreis) um 2 . p grösser als der an der anderen Seite auftretende grösste Kantenzug. Zur Ermittelung der pressungslosen (neutralen) Stelle und der Verteilung der Spannungen bleiben die Formeln 4 (oder richtiger 4a) und 5 in Gültigkeit.

Mauerwerk mit Zugspannungen.

Wenn das Mauerwerk in der Lage ist, Zugspannungen auszuhalten, so würde bei beliebiger exzentrischer Lage des Druckes sich die Spannungsverteilung in gleicher Weise ermitteln lassen. Es kann dann sogar der Druck D ausserhalb der Mauer liegen (Fig. 384), wobei allerdings der Kantendruck und Kantenzug immer mehr wächst, bis er bei unendlicher Entfernung der Kraft D auch in einen unendlichen grossen Wert übergehen würde.

Mauerwerk ohne Zugspannungen.

Nun darf man aber aus den früher angegebenen Gründen dem Mauerwerk keinen Zug zumuten. Die nicht gedrückten Teile werden gar keinen Anteil an der Kraftübermittelung haben, sie werden spannungslos aufeinander ruhen, unter Umständen wird sich hier sogar eine mehr oder weniger merkliche offene Fuge bilden können. Die Druckübertragung findet so statt, als wenn dieser


Verteilung der Druckspannungen
über den Querschnitt.
Kernfiguren der Querschnitte
378
384
Druckkraft D.
ausserhalb des Kernes.



betreffende Teil des Querschnittes gar nicht vorhanden wäre. Liegt z. B. ein rechteckiger Grundriss vor, Fig. 385 und 386, auf den der resultierende Druck D in dem Punkte P ausserhalb des Kernes wirkt, so wird sich die Spannung so verteilen, als wäre nur eine Fläche von der Länge AL vorhanden, welche bei L die Pressung Null hat. Ist bei L die Pressung Null, so muss der Druckmittelpunkt P die Kerngrenze darstellen, daraus folgt für rechteckige oder quadratische Querschnitte, dass man die Länge AP dreimal von A aus abzutragen hat, um den Punkt L zu erhalten.

Die in der Mitte der getroffenen Fläche (b . n) wirkende Durchschnittspressung d muss Druck durch Fläche sein, also: $d = D : (b \,.\, n) = D : (b \,.\, 3\, m)$.

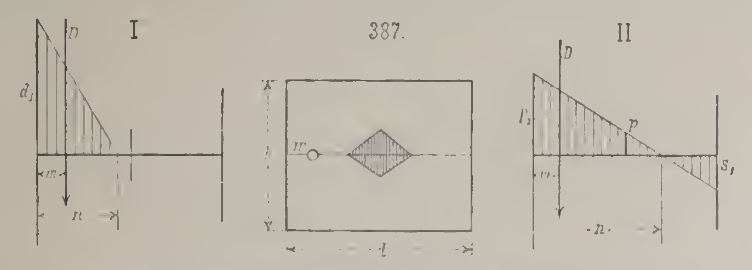
Die grösste Kantenpressung ist doppelt so gross, also:

6) $d_1 = \dfrac{2 \,.\, D}{3 \,.\, b \,.\, m}$. 7) $n = 3 \,.\, m$.

Diese Formeln gelten für quadratische und rechteckige Mauerquerschnitte von der Breite b, in denen eine Druckkraft D ausserhalb des Kernes in dem Abstande m von der Aussenkante angreift. Aus Gleichung 6 findet man als d_1 den grössten Kantendruck auf das qcm, aus 7 ergiebt sich die Länge n, bis zu welcher sich der Druck über die Fläche ausbreitet.

Tabelle über die Grösse der Kantenpressung

in einem rechteckigen Mauerquerschnitte bei verschiedener Lage der resultierenden Druckkraft.



Entfernung der Druckkraft von der Aussenkante	I. Mauerwerk ohne Zug: Kantenpressung vorn	Kantenpressung hinten	Entfernung der pressungslos. Linie von der Vorderkante	II. Mauerwerk mit Zug: Kantendruck vorn	Kantenzug hinten	Entfernung der pressungslos. Linie von der Vorderkante	
$m =$	d_1	d_2	n	p_1	s_1	n	
$^1/_2$ l	p	p	∞	die gleichen Werte wie links			Druck greift an im Kern.
$^5/_{12}$ l	$1\,^1/_2$ p	$^1/_2$ p	$1\,^1/_2$ l				
$^1/_3$ l	2 p	0	l				
$^1/_4$ l	$2\,^2/_3$ p	—	$^3/_4$ l	$2\,^1/_2$ p	Zug: $^1/_2$ p	$^5/_6$ l	Druck greift an zwischen Kern und Kante.
$^1/_6$ l	4 p	—	$^1/_2$ l	3 p	„ 1 p	$^3/_4$ l	
$^1/_{12}$ l	8 p	—	$^1/_4$ l	$3\,^1/_2$ p	„ $1\,^1/_2$ p	$^7/_{10}$ l	
0	∞	—	0	4 p	„ 2 p	$^2/_3$ l	
$-\,^1/_2$ l	—	—	—	7 p	Zug: 5 p	$^7/_{12}$ l	Druck ausserhalb.
$-$ 1	—	—	—	10 p	„ 8 p	$^5/_9$ l	

p = Druckspannung auf 1 qcm bei gleichmässiger Verteilung.

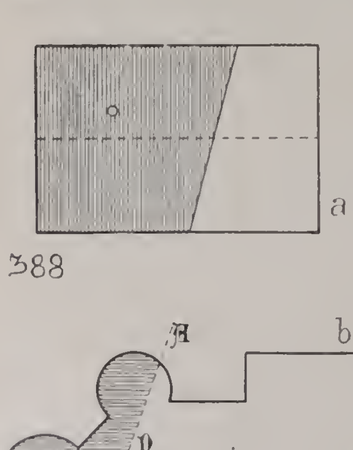
Für eine dreieckige Grundfläche würde n = 2 · m werden, wenn sich der Druck der Spitze nähert. Für andere zusammengesetzte Querschnitte sind die Beziehungen für eine Drucklage ausserhalb des Kernes weniger einfach, so dass auf deren Darlegung hier verzichtet werden muss.

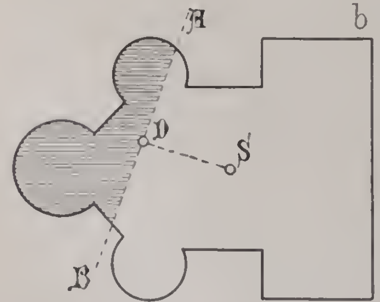
Hervorzuheben ist, dass bei Mauerwerk, welches keinen Zug aushalten kann, die resultierende Kraft (bezw. die Drucklinie) nie bis dicht an die Aussenkante rücken darf, da sonst hier die Pressung sich rasch dem Wert „Unendlich" nähert, also unbedingt ein Zermalmen der Baustoffe eintritt. Beim Überschreiten der Kante würde ja überdies der Umsturz erfolgen. Nur bei zugfestem Mauerwerke würde die Drucklinie, solange das Material noch hält, aus der Fläche hinausschreiten können.

Zum Vergleich sind in vorstehender Tabelle für verschiedene Lagen der Drucklinie die Kantenpressungen zusammengestellt und zwar für rechteckige Mauergrundrisse mit oder ohne Zugfestigkeit. Die Werte sind auf die durchschnittliche Pressung p bezogen, welche jedes qcm bei gleichmässig verteiltem Drucke erhalten würde. p ist also Druck durch Fläche (D: F oder D : b . l).

Es sei nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass die Kantenpressung in Wirklichkeit nicht genau so gross ist, wie es die mathematische Berechnung ergiebt; in vielen Fällen wird sie wahrscheinlich geringer ausfallen, da sich das am Rande des Querschnittes befindliche Material durch seitliches Ausweichen etwas der Beanspruchung entziehen kann.

Bei einer stark exzentrischen aber in einer Symmetrieebene bleibenden Lage des Druckes in einer nicht zugfesten Fuge (vgl. Fig. 385 und 386) ist die Berechnung der Kantenpressung bei einem rechteckigen Grundrisse, wie wir gesehen haben, sehr einfach (vgl. Formel 6 und 7). Wenn der Angriffspunkt des Druckes nicht auf der Mittellinie des Rechteckes liegt, wie in nebenstehendem Grundrisse, dann wird die Berechnung schon recht schwierig (vgl. Barkhausen, Zeitschr. d. Hann. Arch. u. Ing.-Vereins 1883 S. 470 u. Hüppner, Civ. Ing. 1885 S. 39.)





Wenn nun gar statt des Rechteckes weniger regelmässige Grundformen vorliegen, so steigern sich die Schwierigkeiten ganz bedeutend. Schon der Kreisring erfordert umständliche Verfahren zu einer genauen Berechnung (vgl. darüber Lang, der Schornsteinbau). Die Aufstellung solcher genauer Berechnungen ist daher praktisch meist gar nicht durchführbar, man muss vielmehr zu einfachen Annäherungsverfahren greifen. Der Verfasser dieses pflegt das folgende Verfahren bei seinen Rechnungen einzuschlagen.

Durch den Druckpunkt *D* wird eine Linie *AB* gelegt, welche einen möglichst kleinen Teil der Grundfläche abschneidet und dieses abgeschnittene Stück der Grundfläche wird als gleichmässig mit der halben Last beansprucht betrachtet. Dabei wird die Kantenpressung zwar etwas zu klein (meist 10—25 %), das ist aber nicht als ein zu erheblicher Mangel anzusehen, da bei Mauerwerk gewöhnlich mit reichlich grosser Sicherheit gerechnet wird und die Kantenpressung vermutlich meist geringer ist als das Rechnungsergebnis. Will man sicher gehen, so kann man der nach diesem vereinfachten Verfahren ermittelten Pressung noch etwa 20 % zuschlagen.

Anwendung auf die Widerlager alter Bauwerke.

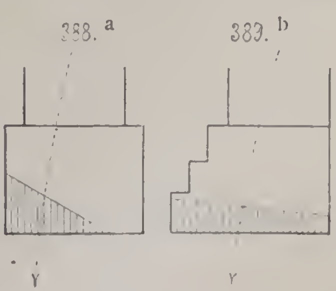
Wenn es sich um die Herstellung oder den Umbau alter nicht mehr verlässlicher Bauwerke handelt, so ist es ganz besonders angezeigt, die Gewichte und Schübe, soweit es möglich ist, zu berechnen und danach eine Druckausmittelung vorzunehmen. Dabei erfordern die Widerlager weit mehr Aufmerksamkeit als die Gewölbe. Denn ein unbelastetes Gewölbe, das beim Ausrüsten Stand gehalten, pflegt nach seiner Erhärtung, selbst wenn es starke Risse aufweist, selten gefährdet zu sein, solange „die Widerlager unbeweglich" bleiben. Nachträglich entstandene Risse in solchen Gewölben sind wohl immer durch Weichen und Senken der Widerlager hervorgerufen oder durch eine gar zu grosse Beweglichkeit derselben gegenüber den Windschwankungen.

Hat das Gewölbe vielfache Putz- oder Farblagen übereinander, so können diese gewöhnlich einen willkommenen Anhalt darüber geben, ob das Weichen der Widerlager bei einem besonderen Anlass oder fortgesetzt stattgefunden hat. Im letzteren Falle ist ein weiteres Fortschreiten der Bewegung zu fürchten. Beim Ausbessern der Gewölbe bedürfen meist nur die Hauptbogen, die Anfänge und die Zwickelausmauerung einer näheren Beachtung, Risse in den Kappen, besonders in gebusten sind weniger gefährlich.

Sicherung gewichener Widerlager.

Ist die Beanspruchung des Widerlagers bedenklich, wobei man bei sonst gutem Zustande des Mauerwerkes viel grössere Werte zulassen kann als bei Neuausführungen, so kommen gewöhnlich Verankerungen, Verklammerungen, Verbreiterungen in den Fundamenten oder Vorsetzen von Stützkörpern (Strebepfeilern) in Frage. Treten mehrere Gewölbe zusammen, so kann auch ein Ausgleich der Schübe von Nutzen sein (S. 130), jedoch erheischen Last und Schubveränderungen an alten Werken immer besondere Vorsicht.

Die Aufhebung des Schubes durch Zuganker ist meist das wohlfeilste, wegen der Beweglichkeit und Vergänglichkeit des Eisens aber nur ein bedingt zuverlässiges Mittel. Die Stärke der Anker berechnet sich nach der Grösse des Gewölbeschubes, der nach den Angaben des vorigen Kapitels, geeigneten Falls auch nach der Tabelle I (S. 139) angenähert gefunden wird. Jedem qcm Eisenquerschnitt darf man einen Zug von 700 bis 1000 kg zumuten.

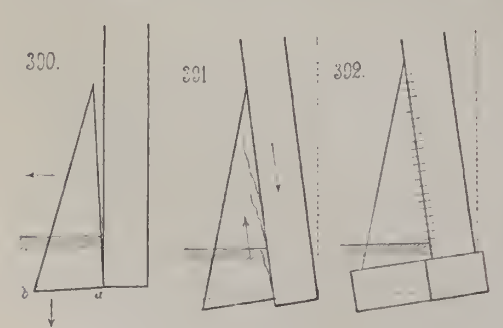


Wenn die Kraftausmittelung erweist, dass die Standfähigkeit nur durch die Zugfestigkeit des Mörtels bewahrt ist, so muss bei Erneuerungen oder Umbauten mit besonderer Vorsicht verfahren werden. Kann man nicht durch Beseitigung oder Ausgleich des schädlichen Schubes gründlich Abhülfe schaffen, so wird an den fraglichen Stellen eine behutsam eingefügte Eisenverklammerung am Platze sein, welche bei einem Loslassen des Mörtels die Zugkräfte übernehmen kann. Die Stärke der Verklammerung lässt sich nach dem Vorhergehenden aus der Grösse der auftretenden Zugkräfte ermitteln. Man kann auch hierbei dem Eisen unbedenklich 700 bis 1000 kg auf das qcm zumuten, Bronze etwa halb so viel.

Ungenügende Fundamente.

In den meisten Fällen ist das Weichen der Widerlager auf das Verhalten des Erdbodens zurückzuführen, es sei daher die Aufmerksamkeit ganz besonders auf die Sohle der Fundamente gelenkt. Nicht selten sind neben einer Gebäude-

mauer oder an einer Ecke Abgrabungen des Bodens gemacht, welche den Frost unter die Fundamente gelangen lassen. Das führt natürlich zu Senkungen und Rissen. Aber auch stark exzentrischer Druck ist bei nachgiebigem Boden leicht bedenklich. Zugkräfte zwischen Erde und Mauerwerk sind ganz ausgeschlossen. Rückt die Druckkraft nahe an die Aussenkante (Fig. 388), so entstehen an dieser ganz bedeutende Druckpressungen. Das ist hier aber noch viel bedenklicher als bei einer Mauerfuge, bei welcher nach Erhärtung des Mörtels kein Zusammendrücken mehr stattfindet. Ein nachgiebiger Boden kommt oft erst spät oder auch gar nicht zur Ruhe, die stärker gepresste Kante wird bei wechselnder Erweichung des Bodens, ebenso bei jeder Laständerung oder Erschütterung der Mauer (z. B. durch Wind) sich tiefer hinabdrücken, was ein fortgesetztes einseitiges Nachsinken der ganzen Mauer zur Folge hat, bis sie wohl gar ihrem Untergange entgegen geführt wird. Durch zweckmässige Verteilung der Fundamentabsätze kann man bei Neuausführungen oft ohne Mehraufwand von Mauerwerk dieser Gefahr vorbeugen, wie ein Gegenüberstellen der Fig. 389a und 389b zeigt, die nach den vorhergehenden Ausführungen über Verteilung des Druckes keiner weiteren Erläuterung bedürfen. Bei alten Werken kann eine nachträgliche Erbreiterung der Fundamente in dem angegebenen Sinne geboten sein, sie muss aber immer als eine sehr heikle Arbeit angesehen werden, bei der dieselben Rücksichten zu nehmen sind wie bei dem nunmehr zu besprechenden Vorsetzen grösserer Mauerkörper.



Vorgelegte Stützpfeiler.

Sollen umsinkende Mauern durch vorgelegte Strebepfeiler gestützt werden, so ist deren Anfügung besondere Beachtung zuzuwenden, wenn sie ihren Zweck überhaupt richtig erfüllen sollen. Sowohl im Mittelalter (besonders im XV. Jahrhundert) als auch in neuerer Zeit sind zahlreiche nachträgliche Abstützungen ausgeführt, teils mit sehr gutem, teils mit recht zweifelhaftem Erfolge. Bei Beobachtung solcher Konstruktionen erkennt man, dass sich gewöhnlich einer der drei in Fig. 390, 391 und 392 veranschaulichten Vorgänge vollzogen hat.

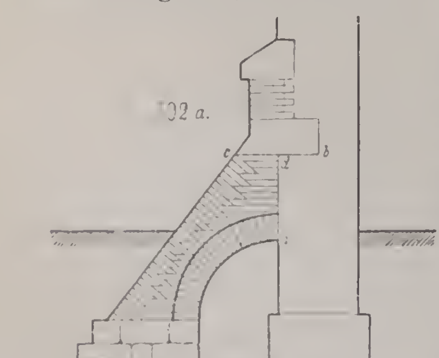


Fig. 390. Der Pfeiler hat sich durch Setzen des Mörtels und durch Eindrücken in den Boden gesenkt und oben völlig von der Mauer abgelöst. Der Pfeiler ist ohne Nutzen, die Mauer steht infolge ihrer eigenen Standfähigkeit und würde ohne die Vorlage vielleicht noch besser stehen.

Fig. 391. Der Pfeiler hat sich wie der vorige gesetzt unter gleichzeitigem Nachdrängen der Mauer. Jeder der beiden Körper hat für sich eine Drehung ausgeführt, wobei die einbindenden Steine an ihrer Berührungsfläche ab-

gesehert sind. Nach Erhärten des neuen Mauerwerkes und Zusammenpressen des Bodens an der Vorderkante kann die Bewegung ganz oder nahezu aufhören und die Mauer ein gewisses Gegenlager an dem Stützkörper finden.

Fig. 392. Der Verband zwischen Pfeiler und Mauer ist so zuverlässig, dass weder ein Loslösen noch ein Abscheren möglich ist, sie wirken dauernd als gemeinsamer Körper. Die beiden vorhergehenden Vorgänge sind verhindert, dagegen kann der Strebepfeiler beim Setzen einem vorgehängten Gewichte gleich die Mauer ein Stück mit herumziehen, bis schliesslich nach genügendem Zusammenpressen des Bodens ein Ruhezustand eintritt und nun dieser Strebepfeiler weit zuverlässiger wirkt als beide vorgenannten.

Ein gewisses Nachrücken der Mauer, wie es zuletzt beschrieben ist, wird sich überhaupt schwer verhindern lassen. War die Wand wirklich in Bewegung, so wird sich letztere nach Vorlegen der Verstrebung noch um ein geringes fortsetzen, bis ein Ruhezustand eintritt. Darin liegt weiter kein Bedenken, es ist aber von Wichtigkeit, dass die nachträgliche Bewegung ein zulässiges Mass nicht überschreitet. Zu diesem Behufe ist dafür zu sorgen, dass der Boden unter dem Fundamente nicht unnötig aufgelockert wird, dass die Sohle des letzteren möglichst breit ist, und dass ein wenig oder gar nicht schwindendes Mauerwerk zur Verwendung kommt. Die meiste Beachtung wird gewöhnlich der Boden verlangen, der sich unter den alten Teilen zusammengepresst hat, unter den neueren aber erst diese Verdichtung erfahren muss. Unter Umständen ist es angängig, den Boden vorher durch Belastung, seltener durch vorsichtiges Stampfen etwas zu festigen. Dass gefährdete Wände vor Ausheben der Erde abzusteifen sind, bedarf kaum der Erwähnung.

Für besondere Fälle können Konstruktionen nach Art der Fig. 392a empfehlenswert sein. Der Erdboden vor dem alten Mauerwerke kann unberührt bleiben, das neue Fundament lässt sich unabhängig mit Sorgfalt herstellen und selbst etwas tiefer legen, der Boden unter ihm kann vorher oder nach Fertigstellung der Fundamente durch Belastung zusammengepresst werden. Der Stützkörper übt einen zuverlässigen Gegendruck aus, er kann in seinem unteren Teile zunächst ohne Verband in Fuge a d gegengemauert werden, nach seinem Setzen wird der obere Teil mit festschliessender Fuge c b aufgebracht. Der obere Teil ist besonders gegen Abscheren zu sichern, am besten durch Einbinden von Werkstücken aus zähem Granit oder Kalkstein.

4. Die Stärke der Wände und Strebepfeiler.

Das vorige Kapitel giebt die Mittel an die Hand, für ein nach Form und Stärke „gegebenes Widerlager" den Grad seiner Sicherheit oder Beanspruchung zu ermitteln. Handelt es sich darum, ein Widerlager für ein bestimmtes Gewölbe erst zu projektieren, derart, dass die Widerlagsstärke von den statischen Untersuchungen abhängig gemacht werden soll, so wird man versuchsweise ein Widerlager annehmen können und für dieses die Kraftausmittelung vornehmen. Je nachdem es sich dabei als schwach oder überflüssig stark erweist, wird man andere Abmessungen versuchen, bis man zu einer zweckdienlichen Stärke gelangt.

Ermittelung durch Versuche.

Statt dieser Versuche kann man unter Umständen durch Rechnung direkt zum Ziel gelangen, wie nachstehendes Beispiel zeigen soll.

Direkte Berechnung der Stärke.

393

Beispiel: Von einem Gewölbe kennt man die Widerlagskräfte

H und V, welche in einer Höhe k über dem Boden angreifen (Fig. 393). Das Gewölbe soll durch einen t Meter hohen prismatischen Strebepfeiler gestützt werden, dessen Grundlänge doppelt so gross als die Breite ist. Diese Grundrissseiten x bezw. $\frac{1}{2}$ x sollen berechnet werden bei der Annahme, dass die Drucklinie genau durch die Kerngrenze geht, also: $A P = \frac{1}{3} x$ ist.

Es wird für den Durchgangspunkt P die Momentengleichung aufgestellt, welche in diesem Falle lautet:

$$V \cdot \frac{2}{3} x + Q \cdot \frac{1}{6} x = H \cdot k.$$

Das Gewicht Q ist Inhalt des Pfeilers mal sein Einheitsgewicht g für 1 cbm, also:

$$Q = x \cdot \frac{x}{2} \cdot t \cdot q.$$

Dieser Wert wird in die obige Gleichung eingesetzt, dabei ergiebt sich:

$$V \cdot \frac{2}{3} x + \frac{1}{12} t \cdot q \cdot x^3 = H \cdot k \text{ oder: } x^3 + \frac{8 \cdot V}{t \cdot q} \cdot x = \frac{3 \cdot H \cdot k}{t \cdot q}.$$

Man hat damit eine Gleichung dritten Grades, die man nach der Cardanischen Formel oder meist einfacher durch wiederholtes probeweises Einsetzen eines Wertes für x löst.

Ganz entsprechend verfährt man bei anderen Widerlagsformen.

Soll der Druck nicht gerade durch die Kerngrenze gehen, so kann man über seine Lage irgend eine andere Bestimmung treffen, z. B. den Durchgangspunkt P in $\frac{1}{12}$ x Abstand von der Mitte oder in einem bestimmten Abstande von vielleicht 0,30 m von der Aussenkante voraussetzen. Die Momentengleichung für P ergiebt dann wieder eine Gleichung dritten oder zweiten Grades, die nach der gesuchten Grundrisslänge aufzulösen ist.

In dieser Weise sind die Widerlagsstärken in den nachfolgenden Tabellen 2, 3, 4 berechnet.

Erläuterungen zu den Tabellen 2, 3, 4 über die Stärke der Widerlager. (Vergl. auch Tabelle 1, S. 139.)

Die Tabellen enthalten die Widerlagsstärke in Metern für fortlaufende Wände sowie für gerade aufsteigende und nach oben verjüngte Strebepfeiler bestimmter Grundrissform und Höhe. Sie sollen die ohnedies genügend einfache Ermittelung der Widerlagsstärke für besondere Fälle mit Hilfe der Stützlinie usw. (siehe vorn S. 144 u. f.) nicht gänzlich überflüssig machen, sie sollen nur dem Entwerfenden einen Anhalt gewähren und sollen noch mehr dazu dienen, ein anschauliches Bild von dem starken Wechsel der Stärken nach Pfeilhöhe, Wölbart, Spannweite und Widerlagshöhe der Gewölbe zu geben.

Die Zahlen sind auf Grund der Gewichte und Schübe von Tabelle 1 auf rechnerischem Wege ermittelt. Sie geben nur die vom Gewölbe bedingten Stärken an. Besondere Verhältnisse müssen noch berücksichtigt werden, so kann der etwa vorhandene Winddruck gegen hohe Wände und Dächer für die Widerlagsstärken einen Zuschlag wünschenswert machen (siehe weiter hinten).

Art der Gewölbe. In der ersten Spalte sind die verschiedenen Gewölbe nach Pfeilhöhe und Kappenstärke aufgezählt, das Vorhandensein vortretender, mässig starker Rippen und einer Hintermauerung in den üblichen Stärken ist vorausgesetzt. (Im übrigen gilt das bei Tabelle 1

Gesagte.) Die Berechnung ist durchgeführt für ein quadratisches Gewölbe von 4·4 = 16 qm und ein solches von 8·8 = 64 qm Grundrissfläche, für andere Grössen sind die Werte einzuschalten.

Rechteckige Gewölbe. Weicht das Rechteck nicht zu sehr vom Quadrat ab, so ist seine Widerlagsstärke gleich derjenigen eines quadratischen Feldes von gleicher Grundfläche und gleichem Pfeilverhältnisse. Beim Rechtecke ist das Pfeilverhältnis (Pfeilhöhe durch Spannweite) in der in Frage kommenden Schubrichtung zu messen, es ist in der langen Richtung kleiner (flacher) als in der kurzen, demgemäss giebt die Tabelle für die lange Richtung des Rechteckes ein entsprechend stärkeres Widerlager als für die kurze.

Gewölbereihen, Einzelgewölbe, Ecken. Die Widerlagsstärken sind für eine Gewölbereihe berechnet, so dass an jedem Widerlagspunkte zwei benachbarte Gewölbe zusammenstossen (vergl. C und C_1 in Fig. 366). Bei einem einzelnen, von Widerlagern umschlossenen Gewölbe (z. B. Turmgewölbe) kann die Stärke verringert werden, ebenso an den Ecken der Gewölbereihen (D in Fig. 366). Diese Abnahme kann bei Widerlagswänden bis gut $^1/_4$ der Stärke betragen, wenn die Wände hoch und die Gewölbe leicht sind; sind die Gewölbe schwer und die Widerlager niedrig, so behalte man auch für Einzelgewölbe die Tabellenwerte bei. Die gleiche Ersparnis bis $^1/_4$ ist statthaft für Strebepfeiler, wenn nur ihre Grundrisslänge abnimmt, soll aber Länge und Breite zugleich abnehmen, so darf diese Einschränkung nur ein bis zwei Zehntel der Länge und Breite betragen. Wird an der Ecke statt zweier Strebepfeiler ein einziger diagonal gestellter angewandt, so macht man ihn meist so stark, wie die Tabellen es für Strebepfeiler an der fortlaufenden Wand angeben.

Widerlagshöhe. Es ist eine Höhe der Widerlagswände bezw. Strebepfeiler bis Oberkante Schlussstein angenommen. Sind die Strebepfeiler niedriger, so wird das Fehlende reichlich durch das Gewicht der Verbindungswand ersetzt. — Es sind die Stärken für eine niedere Wandhöhe (von Fundamentabsatz bis Oberkante Schlussstein $^5/_4$ Spannweiten), für eine mittlere ($2^1/_2$ Spannweiten) und eine beliebig oder unendlich grosse Höhe berechnet. Bei unendlicher Widerlagshöhe wächst die Stärke nicht ins Unendliche, sondern sie nähert sich einem gar nicht übermässig grossen Grenzwerte. Derselbe ist zur Einschaltung der Werte für hochliegende Gewölbe (Türme u. dergl.) aufgenommen; dass der Widerlagshöhe infolge des Zerdrückens des Materials durch sein Eigengewicht eine engere Grenze gezogen wird, ist selbstverständlich.

Lage des Druckes in der Kante. Die in der Tabelle unter dieser Bezeichnung aufgeführten Zahlen sind untere Grenzwerte, denen man sich nicht nähern darf, da Widerlager dieser Stärke (ohne Zugfestigkeit) umstürzen würden.

Lage des Druckes in der Kerngrenze. Die unter dieser Bezeichnung aufgeführten Werte geben genügende Widerlagsstärken an, falls die Kantenpressung nicht etwa zu gross ist (vergl. etwas weiter unten). Bei zu grosser Kantenpressung ist eine kleine Verstärkung des Widerlagers am Platze, ist dagegen die Pressung sehr klein, so kann die Stärke allenfalls noch etwas eingeschränkt werden, doch muss sie sich der Umsturzgrenze genügend fern halten.

Lage des Druckes in der Mitte kommt nur bei Tabelle 4 für nach oben verjüngte Strebepfeiler in Frage. Wird die dieser Drucklage zugehörige Stärke verwendet, so ist in günstigster Weise eine gleichmässige Druckverteilung über den Querschnitt erreicht.

Grösse der stärksten Druckpressungen. Wenn der Druck durch die Kerngrenze geht, so ist der Druck an der Innenkante gleich Null, an der Aussenkante entsteht die grösste Pressung, zu deren ungefährer Angabe die kleinen Zahlen beigedruckt sind, es bedeutet:

1) grösste Pressung auf 1 qcm = 0 bis 4 kg 4) grösste Pressung auf 1 qcm = 11 bis 14 kg
2) „ „ „ „ „ = 4 „ 7 „ 5) „ „ „ „ „ = 14 „ 21 „
3) „ „ „ „ „ = 7 „ 11 „ 6) „ „ „ „ „ = 21 „ 28 „

Bei der Drucklage in der Mitte (Tabelle 4) herrscht der angegebene Druck gleichmässig im ganzen Querschnitte. Ergiebt sich der Druck zu gross für das geplante Material, so muss man die Widerlager etwas stärker machen.

Wenn die Fensteröffnungen nicht von Strebepfeiler zu Strebepfeiler reichen, sondern zu jeder Seite ein volles Wandstück verbleibt, so dürfen die Pfeilerlängen der Tabellen 3 und 4 um 10 bis 20 Prozent verkleinert werden.

Tabelle 2.
Widerlagsstärke einer geraden Wand,
deren Länge zur Hälfte durch Öffnungen unterbrochen ist.

Die Wand ist bis Schlusssteinhöhe hinaufgeführt. Die Zahlen bezeichnen die Stärke der Wand in Metern.

	Geringe Wandhöhe				Mittlere Wandhöhe				Beliebige Wandhöhe			
	Werkstein Druck durch		Ziegelstein Druck durch		Werkstein Druck durch		Ziegelstein Druck durch		Werkstein Druck durch		Ziegelstein Druck durch	
	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.
A. Gewölbe 4.4 = 16 qm.												
I. Pfeil 1 : 8 (u = 0,60 m)	Wandhöhe t = 5,00 m				Wandhöhe t = 10,00 m				Wandhöhe t = ∞			
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	1,00	[1] 1,75	1,25	[1] 2,10	1,10	[2] 1,90	1,35	[1] 2,30	1,15	2,00	1,45	2,45
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	1,55	[1] 2,65	1,85	[1] 3,15	1,70	[2] 2,90	2,05	[1] 3,50	1,85	3,15	2,25	3,90
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	1,80	[1] 3,10	2,15	[1] 3,60	1,95	[2] 3,35	2,35	[1] 4,05	2,15	3,70	2,65	4,55
II. Pfeil 1 : 3 (u = 1,25 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,60	[1] 1,02	0,70	[1] 1,20	0,70	[2] 1,20	0,83	[1] 1,40	0,78	1,35	0,95	1,65
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,89	[1] 1,50	1,05	[1] 1,75	1,05	[2] 1,80	1,25	[1] 2,15	1,25	2,15	1,50	2,60
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	1,00	[1] 1,70	1,15	[1] 1,95	1,25	[2] 2,10	1,50	[1] 2,50	1,50	2,55	1,80	3,15
III. Pfeil 1 : 2 (u = 1,60 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,44	[1] 0,74	0,53	[1] 0,88	0,53	[2] 0,92	0,65	[1] 1,10	0,63	1,10	0,78	1,35
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,65	[1] 1,05	0,75	[1] 1,25	0,86	[2] 1,45	1,00	[1] 1,70	1,05	1,80	1,30	2,20
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,76	[1] 1,25	0,87	[1] 1,45	1,00	[2] 1,70	1,20	[1] 2,00	1,25	2,20	1,55	2,65
IV. Pfeil 2 : 3 (u = 2,20 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,35	[1] 0,59	0,40	[1] 0,67	0,46	[2] 0,79	0,55	[1] 0,91	0,58	1,00	0,71	1,25
feste Z. $^1/_2$ St. od. poröse $^3/_4$ St.	0,38	[1] 0,64	0,44	[1] 0,72	0,51	[2] 0,89	0,62	[1] 1,05	0,66	1,15	0,81	1,40
feste Z. $^3/_4$ St. od. poröse 1 St.	0,43	[1] 0,71	0,49	[1] 0,81	0,60	[2] 1,05	0,71	[1] 1,20	0,78	1,35	0,95	1,65
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,48	[1] 0,79	0,54	[1] 0,88	0,70	[2] 1,20	0,83	[1] 1,40	0,92	1,60	1,10	1,95
Bruchstein 30 cm	0,55	[1] 0,91	0,62	[1] 1,00	0,86	[2] 1,45	1,00	[1] 1,70	1,20	2,05	1,45	2,55
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,57	[1] 0,92	0,63	[1] 1,01	0,87	[2] 1,55	1,05	[1] 1,75	1,20	2,10	1,50	2,60
V. Pfeil 5 : 6 (u = 2,80 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,26	[1] 0,44	0,31	[1] 0,51	0,40	[2] 0,70	0,50	[1] 0,83	0,55	0,95	0,68	1,20
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,36	[1] 0,57	0,40	[1] 0,63	0,62	[2] 1,05	0,71	[1] 1,20	0,88	1,55	1,10	1,85
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,36	[2] 0,59	0,41	[1] 0,64	0,71	[2] 1,20	0,84	[2] 1,50	1,10	1,95	1,40	2,40
B. Gewölbe 8.8 = 64 qm.												
III. Pfeil 1 : 2 (u = 3,30 m)	Wandhöhe t = 10,00 m				Wandhöhe t = 20,00 m				Wandhöhe t = ∞			
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,63	[2] 1,05	0,73	[1] 1,25	0,75	[3] 1,30	0,90	[2] 1,55	0,85	1,50	1,05	1,80
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,91	[2] 1,55	1,10	[1] 1,80	1,15	[3] 1,95	1,35	[2] 2,30	1,35	2,35	1,70	2,90
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	1,20	[2] 2,00	1,40	[2] 2,30	1,55	[3] 2,65	1,85	[3] 3,10	1,90	3,30	2,35	4,05
IV. Pfeil 2 : 3 (u = 4,50 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,45	[2] 0,80	0,58	[1] 0,95	0,65	[3] 1,10	0,78	[2] 1,30	0,80	1,35	0,95	1,65
feste Z. $^1/_2$ St. od. poröse $^3/_4$ St.	0,48	[2] 0,90	0,60	[1] 1,00	0,70	[3] 1,20	0,83	[2] 1,40	0,85	1,50	1,05	1,80
feste Z. $^3/_4$ St. od. poröse 1 St.	0,60	[2] 1,00	0,70	[1] 1,20	0,83	[3] 1,40	1,00	[2] 1,75	1,05	1,80	1,25	2,20
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,68	[2] 1,15	0,78	[2] 1,30	0,95	[3] 1,60	1,15	[3] 2,50	1,20	2,10	1,50	2,55
Bruchstein 30 cm	0,85	[2] 1,40	0,98	[2] 1,60	1,25	[3] 2,10	1,45	[3] 1,90	1,65	2,85	2,00	3,45
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,95	[2] 1,55	1,05	[2] 1,70	1,40	[3] 2,40	1,65	[3] 2,80	1,90	3,30	2,35	4,05
V. Pfeil 5 : 6 (u = 5,70 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,38	[2] 0,64	0,45	[2] 0,75	0,57	[3] 0,98	0,68	[2] 1,15	0,73	1,30	0,90	1,55
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,53	[2] 0,86	0,60	[2] 0,98	0,86	[3] 1,45	1,05	[3] 1,70	1,20	2,05	1,45	2,50
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,70	[3] 1,10	0,72	[2] 1,20	1,25	[4] 2,10	1,45	[3] 2,45	1,90	3,35	2,35	4,10

Anmerkung: Bei Druck durch die Kante erfolgt Umsturz! Bei Druck durch die Kerngrenze ist das Widerlager gesichert, falls die Kantenpressung nicht zu gross ist. Letztere wird durch die kleinen Zahlen angegeben, und zwar bedeutet:

[1] grösste Pressung auf 1 qm: bis 4 kg. [2] grösste Pressung auf 1 qm: 4 bis 7 kg. [3] grösste Pressung auf 1 qm: 7 bis 11 kg.
[4] „ „ „ 1 „ 11 „ 14 „ [5] „ „ „ 1 „ 14 „ 21 „ [6] „ „ „ 1 „ 21 „ 28 „

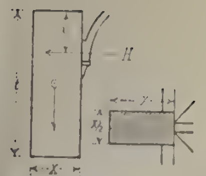


Tabelle 3.

Widerlagsstärke eines ungegliederten Strebepfeilers.

Die Tabelle enthält die Länge X des Grundrisses in Metern. Die Grundrissbreite ist halb so gross wie die Länge. Der Pfeiler steigt im Aufrisse ohne Absatz bis zur Höhe des Gewölbeschlusssteines auf.

	Geringe Höhe				Mittlere Höhe				Beliebige Höhe			
	Werkstein		Ziegelstein		Werkstein		Ziegelstein		Werkstein		Ziegelstein	
	Druck durch		Druck durch		Druck durch		Druck durch		Druck durch		Druck durch	
	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.	Kante	Kerngr.
A. Gewölbe von 4 . 4 = 16 qm Grundfläche.												
	Pfeilerhöhe t = 5,00 m				Pfeilerhöhe t = 10,00 m				Pfeilerhöhe t = ∞			
Pfeil 1 : 2 (u = 1,60 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,81	[1] 1,20	0,89	[1] 1,30	1,00	[2] 1,45	1,15	[1] 1,65	1,20	1,70	1,35	1,95
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	1,00	[1] 1,50	1,15	[1] 1,60	1,35	[2] 1,95	1,50	[1] 2,20	1,65	2,35	1,85	2,70
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	1,10	[1] 1,65	1,20	[1] 1,75	1,50	[2] 2,20	1,70	[1] 2,45	1,85	2,70	2,15	3,05
Pfeil 2 : 3 (u = 2,20 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,64	[1] 0,94	0,69	[1] 1,00	0,89	[2] 1,30	1,00	[1] 1,45	1,10	1,60	1,25	1,80
feste Z. $^1/_2$ St. od. poröse $^3/_4$ St.	0,67	[1] 0,98	0,72	[1] 1,05	0,96	[2] 1,40	1,10	[1] 1,55	1,20	1,75	1,40	2,00
feste Z. $^3/_4$ St. od. poröse 1 St.	0,71	[1] 1,05	0,75	[1] 1,10	1,05	[2] 1,50	1,20	[1] 1,70	1,35	1,95	1,55	2,20
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,74	[2] 1,10	0,78	[1] 1,15	1,15	[2] 1,65	1,30	[1] 1,85	1,50	2,15	1,70	2,45
Bruchstein 30 cm	0,79	[2] 1,15	0,82	[2] 1,20	1,30	[2] 1,90	1,45	[2] 2,10	1,80	2,60	2,05	2,95
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,80	[2] 1,20	0,83	[2] 1,25	1,30	[2] 1,95	1,45	[2] 2,15	1,80	2,60	2,05	3,00
Pfeil 5 : 6 (u 2,80 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,47	[2] 0,70	0,50	[1] 0,73	0,80	[2] 1,15	0,90	[1] 1,30	1,05	1,55	1,20	1,75
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,51	[3] 0,75	0,53	[2] 0,78	1,00	[2] 1,45	1,10	[2] 1,60	1,45	2,10	1,65	2,40
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,49	[4] 0,72	0,50	[3] 0,75	1,10	[2] 1,60	1,20	[2] 1,75	1,70	2,50	1,95	2,85
B. Gewölbe von 8 . 8 = 64 qm Grundfläche.												
	Pfeilerhöhe t = 10,00				Pfeilerhöhe t = 20,00 m				Pfeilerhöhe t = ∞			
Pfeil 1 : 2 (u 3,30 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	1,30	[2] 1,90	1,45	[1] 2,10	1,55	[3] 2,25	1,75	[2] 2,55	1,80	2,60	2,05	3,00
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	1,60	[2] 2,35	1,75	[2] 2,55	2,05	[3] 3,00	2,30	[3] 3,35	2,50	3,55	2,85	4,10
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	1,90	[2] 2,75	2,05	[2] 3,00	2,50	[3] 3,65	2,80	[3] 4,10	3,10	4,45	3,55	5,10
Pfeil 2 : 3 (u = 4,50 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	1,00	[2] 1,50	1,10	[2] 1,65	1,40	[3] 2,00	1,55	[3] 2,25	1,70	2,45	1,95	2,80
feste Z. $^1/_2$ St. od. poröse $^3/_4$ St.	1,05	[2] 1,55	1,15	[2] 1,65	1,45	[3] 2,10	1,65	[3] 2,35	1,80	2,60	2,05	3,00
feste Z. $^3/_4$ St. od. poröse 1 St.	1,15	[3] 1,70	1,25	[2] 1,80	1,65	[3] 2,40	1,85	[3] 2,65	2,05	2,95	2,35	3,40
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	1,20	[3] 1,75	1,30	[2] 1,90	1,80	[4] 2,60	2,00	[3] 2,85	2,30	3,30	2,60	3,75
Bruchstein 30 cm	1,35	[3] 2,00	1,40	[2] 2,10	2,10	[4] 3,05	2,30	[3] 3,40	2,80	4,00	3,20	4,60
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	1,40	[3] 2,05	1,45	[3] 2,15	2,25	[4] 3,30	2,50	[3] 3,65	3,10	4,45	3,55	5,10
Pfeil 5 : 6 (u = 5,70 m)												
poröse Ziegel $^1/_2$ Stein stark	0,78	[3] 1,15	0,83	[2] 1,20	1,10	[4] 1,60	1,20	[3] 1,75	1,65	2,35	1,90	2,70
Ziegel 1 St. od. Sandst. 20 cm	0,87	[4] 1,30	0,90	[3] 1,35	1,60	[4] 2,35	1,80	[3] 2,65	2,25	3,25	2,55	3,70
Ziegel m. Füllung u. Fussbd.	0,91	[6] 1,35	0,94	[5] 1,40	2,00	[4] 2,90	2,20	[3] 3,20	3,10	4,45	3,55	5,10

Anmerkung: Bei Druck durch die Kante erfolgt Umsturz! Bei Druck durch die Kerngrenze ist das Widerlager gesichert, falls die Kantenpressung nicht zu gross ist. Letztere wird durch die kleinen Zahlen angegeben, und zwar bedeutet:

[1] grösste Pressung auf 1 qm: bis 4 kg. [2] grösste Pressung auf 1 qm: 4 bis 7 kg. [3] grösste Pressung auf 1 qm: 7 bis 11 kg.
[4] „ „ „ 1 „ 11 „ 14 „ [5] „ „ „ 1 „ 14 „ 21 „ [6] „ „ „ 1 „ 21 „ 28 „

Tabelle 4.

Widerlagsstärke eines trapezartig verjüngten Strebepfeilers.

Die Tabelle enthält die Länge des unteren Grundrisses x in Metern. Die Länge des oberen Grundrisses ist 5/11 von x, die Dicke des Pfeilers ist gleichmässig 4/11 von x. Die Höhe des Strebepfeilers ist bis Schlusssteinhöhe des Gewölbes gerechnet.

	Gewölbe in geringer Höhe						Gewölbe in mittlerer Höhe						Gewölbe in beliebiger Höhe					
	Werkstein			Ziegelstein			Werkstein			Ziegelstein			Werkstein			Ziegelstein		
	Druck geht durch			Druck geht durch			Druck geht durch			Druck geht durch			Druck geht durch			Druck geht durch		
	Kante	Kerngr.	Mitte	Kante	Kerngr.	Mitte	Kante	Kerngr.	Mitte	Kante	Kerngr.	Mitte	Kante	Kerngr.	Mitte	Kante	Kerngr.	Mitte
A. Gewölbe von 4.4 = 16 qm Grundfläche.																		
	Höhe des Strebepfeilers t = 5,00 m						Höhe des Strebepfeilers t = 10,00 m						Höhe des Strebepfeilers t = ∾					
Pfeil 1 : 2 (u = 1,60 m)																		
poröse Ziegel 1/2 Stein stark . .	0,90	[1]1,20	[1]1,60	0,98	[1]1,35	[1]1,80	1,15	[2]1,50	[1]2,00	1,30	[1]1,70	[1]2,25	1,35	1,75	2,35	1,55	2,00	2,60
Ziegel 1 Stein oder Sandstein 20 cm	1,10	[1]1,50	[1]2,00	1,20	[1]1,65	[1]2,20	1,50	[2]2,00	[1]2,65	1,70	[1]2,20	[1]3,00	1,90	2,40	3,25	2,15	2,75	3,70
Ziegel mit Füllung und Fussboden	1,20	[2]1,65	[1]2,20	1,30	[1]1,80	[1]2,40	1,70	[2]2,25	[1]3,00	1,90	[1]2,50	[1]3,35	2,15	2,75	3,70	2,45	3,15	4,20
Pfeil 2 : 3 (u = 2,20 m)																		
poröse Ziegel 1/2 Stein stark . .	0,70	[1]0,95	[1]1,30	0,75	[1]1,03	[1]1,40	1,00	[2]1,35	[1]1,80	1,10	[1]1,50	[1]2,00	1,30	1,65	2,20	1,45	1,90	2,50
feste Ziegel 1/2 St. od. poröse 3/4 St.	0,73	[1]1,00	[1]1,35	0,78	[1]1,08	[1]1,45	1,10	[2]1,45	[1]1,90	1,20	[1]1,60	[1]2,15	1,40	1,80	2,40	1,60	2,05	2,75
feste Ziegel 3/4 St. od. poröse 1 St.	0,75	[2]1,05	[1]1,40	0,79	[1]1,15	[1]1,50	1,20	[2]1,55	[1]2,10	1,30	[1]1,75	[1]2,35	1,55	2,00	2,65	1,75	2,30	3,05
Ziegel 1 Stein oder Sandstein 20 cm	0,78	[2]1,10	[1]1,45	0,83	[1]1,20	[1]1,55	1,30	[2]1,70	[1]2,25	1,40	[1]1,90	[1]2,50	1,75	2,20	3,00	2,00	2,55	3,40
Bruchstein 30 cm	0,83	[2]1,20	[1]1,55	0,85	[2]1,25	[1]1,65	1,45	[2]1,95	[1]2,60	1,60	[1]2,15	[1]2,90	2,05	2,65	3,55	2,35	3,05	4,10
Ziegel mit Füllung und Fussboden	0,83	[2]1,20	[1]1,55	0,85	[2]1,25	[1]1,65	1,45	[2]1,95	[1]2,60	1,60	[1]2,15	[1]2,90	2,10	2,70	3,60	2,40	3,05	4,10
Pfeil 5 : 6 (u = 2,80 m)																		
poröse Ziegel 1/2 Stein stark . .	0,50	[2]0,70	[1]0,95	0,52	[1]0,75	[1]1,00	0,90	[2]1,20	[1]1,60	1,00	[1]1,35	[1]1,80	1,25	1,60	2,15	1,40	1,80	2,45
Ziegel 1 Stein oder Sandstein 20 cm	0,53	[3]0,76	[1]1,00	0,55	[3]0,80	[1]1,05	1,10	[2]1,50	[1]2,00	1,20	[2]1,65	[1]2,20	1,70	2,15	2,90	1,95	2,50	3,30
Ziegel mit Füllung und Fussboden	0,50	[5]0,73	[2]0,98	0,50	[4]0,75	[2]1,00	1,20	[2]1,60	[1]2,15	1,25	[2]1,75	[1]2,35	2,00	2,55	3,40	2,25	2,90	3,90
B. Gewölbe von 8.8 = 64 qm Grundfläche.																		
	Höhe des Strebepfeilers t = 10,00 m						Höhe des Strebepfeilers t = 20,00 m						Höhe des Strebepfeilers t = ∾					
Pfeil 1 : 2 (u = 3,30 m)																		
poröse Ziegel 1/2 Stein stark . .	1,40	[2]1,90	[1]2,55	1,60	[1]2,10	[1]2,85	1,75	[3]2,35	[2]3,10	2,00	[2]2,65	[1]3,50	2,05	2,65	3,60	2,35	3,05	4,60
Ziegel 1 Stein oder Sandstein 20 cm	1,75	[2]2,35	[1]3,20	1,90	[2]2,60	[1]3,50	2,30	[3]3,05	[2]4,10	2,60	[2]3,45	[1]4,60	2,85	3,65	4,90	3,25	4,20	5,60
Ziegel mit Füllung und Fussboden	2,05	[2]2,80	[1]3,75	2,20	[2]3,05	[1]4,05	2,80	[3]3,75	[2]5,00	3,15	[2]4,20	[1]5,60	3,55	4,10	6,15	4,05	5,25	7,05
Pfeil 2 : 3 (u = 4,50 m)																		
poröse Ziegel 1/2 Stein stark . .	1,10	[2]1,55	[1]2,05	1,20	[2]1,65	[1]2,20	1,60	[3]2,10	[2]2,75	1,75	[2]2,35	[1]3,10	1,95	2,50	3,35	2,25	2,85	3,85
feste Ziegel 1/2 St. od. poröse 3/4 St.	1,10	[2]1,55	[1]2,05	1,20	[2]1,70	[1]2,25	1,65	[3]2,20	[2]2,90	1,85	[2]2,45	[1]3,25	2,10	2,70	3,60	2,40	3,05	4,10
feste Ziegel 3/4 St. od. poröse 1 St.	1,20	[3]1,70	[1]2,25	1,30	[2]1,85	[1]2,45	1,80	[3]2,40	[2]3,25	2,05	[2]2,70	[1]3,65	2,35	3,05	4,05	2,70	3,45	4,80
Ziegel 1 Stein oder Sandstein 20 cm	1,25	[3]1,80	[1]2,35	1,35	[2]1,90	[1]2,55	1,95	[3]2,65	[2]3,55	2,20	[2]2,95	[1]3,95	2,60	3,35	4,50	3,00	3,85	5,15
Bruchstein 30 cm	1,40	[3]2,00	[1]2,70	1,45	[3]2,15	[1]2,85	2,35	[3]3,15	[2]4,20	2,60	[3]3,50	[1]4,65	3,20	4,10	5,50	3,65	4,70	6,30
Ziegel mit Füllung und Fussboden	1,45	[4]2,10	[2]2,75	1,50	[3]2,20	[1]2,90	2,50	[3]3,40	[2]4,55	2,75	[3]3,70	[1]5,00	3,55	4,60	6,15	4,05	5,25	7,05
Pfeil 5 : 6 (u = 5,70 m)																		
poröse Ziegel 1/2 Stein stark . .	0,83	[3]1,15	[1]1,55	0,88	[3]1,25	[1]1,65	1,40	[3]1,90	[2]2,50	1,55	[2]2,10	[1]2,80	1,90	2,40	3,25	2,15	2,75	3,70
Ziegel 1 Stein oder Sandstein 20 cm	0,90	[4]1,30	[2]1,75	0,93	[3]1,40	[1]1,80	1,80	[3]2,40	[2]3,25	1,95	[3]2,65	[1]3,55	2,55	3,30	4,45	2,95	3,80	5,10
Ziegel mit Füllung und Fussboden	0,93	[6]1,35	[3]1,80	0,95	[6]1,40	[3]1,85	2,20	[4]3,00	[2]4,00	2,35	[3]3,25	[1]4,35	3,55	4,60	6,15	4,10	5,25	7,05

Anmerkung: Bei Druck durch die Kante erfolgt Umsturz! Bei Druck durch die Kerngrenze ist das Widerlager gesichert, wenn die Kantenpressung nicht zu gross ist. Letztere wird angegeben durch die beigedruckten kleinen Zahlen, und zwar bedeutet:

[1] grösste Pressung auf 1 qm: bis 4 kg. [2] grösste Pressung auf 1 qm: 4 bis 7 kg. [3] grösste Pressung auf 1 qm: 7 bis 11 kg.
[4] „ „ „ 1 „ 11 „ 14 „ [5] „ „ „ 1 „ 14 „ 21 „ [6] „ „ „ 1 „ 21 „ 28 „

Bei Druck durch die Mitte herrscht im ganzen Querschnitte die durch die kleinen Zahlen angegebene Pressung.

Die Tabelle lässt erkennen, wie viel Mauerwerk sich bei zweckmässiger Form der Widerlager sparen lässt. Die Mauermasse verhält sich bei mittlerer Widerlagshöhe und mittleren Verhältnissen in den drei Tabellen etwa wie 4 : 2 : 1.

5. Die Stärke der Mittelpfeiler.

Die in den beiden voraufgehenden Kapiteln behandelten statischen Forderungen für Widerlager gelten in vollem Umfange für Mittelpfeiler jeder Art. Da die Gefahr des Gleitens hier kaum zu fürchten ist, handelt es sich um die drei Bedingungen, dass

1. der Pfeiler in jeder Richtung gegen Umsturz gesichert ist,
2. an keiner Stelle das zulässige Mass der Druckbeanspruchung überschritten wird,
3. die Mittellinie des Druckes möglichst im Querschnittskerne bleibt.

Der ersten Bedingung ist immer genügt, sobald die zweite erfüllt ist. Von der dritten Bedingung kann auch häufig abgesehen werden, wenn die Kantenpressung gering bleibt. Besonders ist bei guter Ausführung in Werkstein das Zusammenpressen der Fugen an der einen und Öffnen an der anderen Seite so wenig zu fürchten, dass ein geringes Hinaustreten des Druckes aus dem Kerne meist zulässig ist. Um den freien Raum nicht zu beengen, geht man bei Mittelpfeilern gern an die als zulässig erachtete Spannungsgrenze heran, nicht sollte man es aber in solchen Fällen unterlassen, die Fundamente recht zuverlässig zu erbreitern. Für sehr schlanke Pfeiler wird man einen Zuschlag mit Rücksicht auf die Gefahr des Ausbauchens oder Zerknickens zu machen haben. (Um genauere Angaben über die Knickfestigkeit machen zu können, fehlen für Mauerwerk einstweilen noch die Grundlagen, man kann jedoch annehmen, dass die Knickgefahr für Steinkörper nicht sehr gross ist.)

Die häufigsten Belastungsfälle für den Mittelpfeiler sind bereits in den Figuren 350 bis 355 dargestellt. Will man den Verlauf des Druckes von oben bis unten im ganzen Pfeiler übersichtlich verfolgen, so wendet man am besten das graphische Verfahren an; handelt es sich darum, nur die Druckverteilung auf die Grundfläche oder irgend einen anderen Querschnitt zu finden, so kommt man ebensogut durch Rechnung zum Ziele (vergl. S. 144 und Beispiel unten). Das graphische Verfahren giebt bei schlanken Pfeilern oft sehr spitzwinklige Linienschnitte, so dass schon der grösseren Genauigkeit wegen die Rechnung in solchen Fällen vorzuziehen ist.

Mittelpfeiler einer Hallenkirche.

Da die Beanspruchung der Mittelpfeiler einer Hallenkirche ziemlich einfach ist, sind diese besonders geeignet, zur Erläuterung des Ganges der Druckausmittelung zu dienen. Es sei sogleich ein bestimmter Fall vorausgesetzt.

Lage des Druckes im Pfeiler. Beispiel 1.

Beispiel 1 (vergl. Fig. 394 und 395). Eine Hallenkirche mit 9 m breitem Mittelschiffe und 6 m breiten Seitenschiffen bei 9 m Jochlänge wird von übereck gestellten quadratischen Pfeilern von 12 m Höhe und 1,25 m Seitenlänge also 1,77 m Diagonallänge geteilt. Die Scheidebogen von 0,70 m Breite sind in den Zwickeln bis 2 m über Kapitäl übermauert. Pfeiler und Scheidebogen bestehen aus Sandstein von 2300 kg Gewicht für je 1 cbm. Die Gewölbe mit Sandstein-

rippen und Gurten sind ½ Stein stark aus gewöhnlichen Ziegelsteinen (Gewicht 1600 kg für 1 cbm) aufgeführt. Der Querschnitt zeigt für beide Schiffe eine durchschnittliche Pfeilhöhe von ⅔ der Spannweite.

Es soll nun die Lage des Druckmittelpunktes und die grösste Spannung an der Grundfläche des Pfeilers in Fussbodenhöhe gesucht werden.

Die Gewölbekräfte mögen nach Tabelle 1 (auf S. 139) angenommen werden und zwar (nach Zeile IVb) das Gewicht für 1 qm Grundriss zu 380 kg und der Schub für je 1 qm Grundriss zu 120 kg. Auf den Pfeilern wirkt von den beiden Seiten je eine Gewölbehäfte von 27 bezw. 18 qm Grundrissfläche ein, danach ergeben sich als Kräfte

$$\text{für das Mittelschiffgewölbe: } V_1 = 27 \cdot 380 = 10260$$
$$H_1 = 27 \cdot 120 = 3240$$
$$\text{für das Seitenschiffgewölbe: } V_2 = 18 \cdot 380 = 6840$$
$$H_2 = 18 \cdot 120 = 2160$$

Die Höhe des Angriffspunktes der Kräfte über Kapitäl kann zu ¼ der Pfeilhöhe gerechnet werden, also im Mittelschiffe zu 1,50 m, im Seitenschiffe zu 1,00 m.

Die Scheidebogen nebst ihrer Hintermauerung mögen einen Inhalt haben von 5 cbm, also ein Gewicht von $5 \cdot 2300 = 11500$ kg $= G_1$.

Das Gewicht des Pfeilers berechnet sich zu:

$$G_2 = 1{,}25 \cdot 1{,}25 \cdot 12{,}00 \cdot 2300 = 43125 \text{ kg.}$$

Man stellt nun für den gesuchten Durchgangspunkt des Druckes P, der einen Abstand x von der Mittelachse haben möge, die Momentengleichung auf

$$G_1 \cdot x + G_2 \cdot x + V_1 (x + 0{,}35) + H_2 \cdot (12{,}00 + 1{,}00) = V_2 \cdot (0{,}35 - x) + H_1 \cdot (12{,}00 + 1{,}15).$$

Danach ist:

$$x = \frac{V_2 \cdot 0{,}35 + H_1 \cdot 13{,}50 - V_1 \cdot 0{,}35 - H_2 \cdot 13{,}00}{G_1 + G_2 + V_1 + V_2}$$

Werden die oben festgesetzten Zahlenwerte für V_2, H_1 usw. eingesetzt, so berechnet sich:

$$x = 0{,}20$$

d. h. der Mittelpunkt des Druckes liegt um 0,20 m oder 20 cm seitwärts von der Mitte. Der Kern misst nur ⅓ der Seite oder ⅙ der Diagonale, er hat in der Richtung der letzteren also nur eine Breite von 29,3 cm oder seine Hälfte nur 15,7 cm. Die Druckmitte P liegt also um 4 5 cm ausserhalb des Kernes (vergl. den Grundriss 395a).

Dieser geringe Abstand vom Kerne, welcher bewirkt, dass an der Innenseite des Pfeilers ein Stück ohne Pressung bleibt, kann als sehr wohl zulässig bezeichnet werden, falls die äussere Kantenpressung nicht zu gross ausfällt. Bei zentrischem Drucke wäre die Pressung auf die Flächeneinheit Gesamtgewicht dividiert durch Grundfläche, ersteres ist $G_1 + G_2 + V_1 + V_2 = 71700$, die Fläche ist $1{,}25 \cdot 1{,}25 = 1{,}56$ qm oder 15600 qcm. Die Pressung auf jedes qcm betrüge somit $71700 : 15600 = 4{,}6$ kg, falls der Druck in der Mitte angriffe. Ginge er durch die Kerngrenze, so wäre die grösste Pressung an der Aussenkante doppelt so gross, also 9,2 kg. Jetzt wird sie noch etwas grösser ausfallen, jedoch, wie man schon schätzen kann, jedenfalls unter 12 kg auf ein qcm bleiben, das ist aber für ein gutes Sandsteingemäuer keine zu hohe Pressung, es kann deshalb der Pfeiler als genügend sicher gelten.

Das Fundament wird zweckmässig nach aussen derart erbreitert, dass der Mittelpunkt seiner Sohle um etwa 20 cm gegen die Pfeilermitte verschoben ist, dadurch wird der Druck zentrisch (vergl. Fig. 395). Wiegt das Fundament rund 13000 kg, so hat es an seiner Sohle 71700 + 13000 also rund 85000 kg Druck zu übertragen. Darf man den Boden mit 2,5 kg auf das qcm belasten, so wird eine Grundfläche von $85000 : 2{,}5 = 34000$ qcm oder 3,4 qm erforderlich sein, die man zweckmässig so verteilt, wie es Fig. 395a im Grundrisse und 395 im Aufrisse andeutet. Bei nicht ganz zuverlässigem Boden würde man die Grundfläche besser noch erweitern und ihr der Einfachheit wegen die Form des gestrichelten Rechteckes geben (Fig. 395a)

Bei dem soeben besprochenen Beispiele fiel die Drucklinie aus dem Kerne der Grundfläche hinaus. Wäre statt des übereck gestellten ein sonst ganz gleicher

quadratischer Pfeiler verwendet, dessen Seiten den Gewölbeachsen parallel gerichtet wären, so würde der Druck gerade noch innerhalb des Kernes liegen, und demnach die grösste Kantenpressung geringer werden. Es lohnt, nach derartigen Gesichtspunkten die gängigen Pfeilergrundrisse zu vergleichen.

Die meisten Pfeiler kann man auf die vier Grundrissformen I bis IV in Fig. 396 bringen und zwar auf das Quadrat (event. Rechteck), das regelmässige Achteck, den Kreis und das übereck gestellte Quadrat. Wird angenommen, dass die vier Grundrisse gleichen Flächeninhalt haben, so wird sich ihr Durchmesser in der Richtung des Schubes verhalten wie: 1 : 1,10 : 1,13 : 1,41. Das umgekehrte Verhältnis findet mit dem Durchmesser des Kernes in der gleichen Richtung statt, dieser nimmt nicht zu sondern ab und zwar in dem Verhältnisse: 1 : 0,88 : 0,85 : 0,71. Daraus folgt aber, dass für eine Lage des resultierenden Druckes im Kerne oder in der Nähe des Kernes der Grundriss I der beste, IV der ungünstigste ist, dass dagegen umgekehrt für einen Angriff des Druckes in der Nähe der Aussenkante I am ungünstigsten, IV dagegen am vorteilhaftesten ist.

Zentrale Pfeiler-grundrisse.

Man überzeugt sich davon am besten, wenn man in allen Grundrissen zwei gleich gelegene Druckpunkte P bezw. P_1 verfolgt. Fällt der erste Punkt „P“ in III gerade in die Grenze des Kernes, so liegt er in I und II noch innerhalb, in IV aber ausserhalb desselben. Die Kantenpressung wird bei IV am grössten sein, ausserdem wird hier ein Stück m n o an der inneren Ecke ohne Pressung bleiben.

Der Punkt P_1 liegt bei I auf der Aussenkante, so dass hier unbedingt Umsturz erfolgt, bei den anderen Grundrissen liegt er noch innerhalb, wenngleich auch bei diesen die Kantenpressung so gross wird, dass es fraglich ist, ob sie standhalten würden. Selbst beim Grundrisse IV würde der Druck sich nur über eine Fläche s t u verteilen, die kaum $^1/_8$ der Gesamtfläche ausmacht, der grösste Kantendruck bei s würde fast 18 mal so gross, als wenn der Druck gleichmässig verteilt wäre.

Immerhin ist es aber möglich, dass bei ungünstiger Drucklage der Pfeiler IV noch seine Standfestigkeit wahrt, wo I bereits zu Grunde gehen würde, besonders ist das möglich, wenn unvorhergesehene Lastschwankungen durch Übertragung des Windes u. dergl. eintreten können. Allerdings sind solche bedeutende Druckverschiebungen gegen die Kante, auch wenn sie nur zeitweise auftreten, der Haltbarkeit des Pfeilers schon wegen der zu fürchtenden Lockerung der Fugen nicht zuträglich.

Gestreckte und unsymmetrische Pfeiler grundrisse.

Ein Grundriss, der die Vorzüge von I und IV vereinigt, ist das mit dem Schube gleich gerichtete Rechteck (Fig. 397), das ja schon bei romanischen Kirchen Verwendung gefunden. Ähnliche Vorzüge hat ein gotischer Rundpfeiler, der nur in der Richtung der Schiffe, nicht aber in derjenigen der Scheidebogen Vorlagen oder Dienste zeigt (Fig. 398); so der Pfeiler von Mantes, der hinten in Fig. 426 dargestellt ist. Der Pfeiler in der Marktkirche zu Hannover hat unten gleichfalls nur Dienste in der Richtung der Schiffe, während die Scheidebogendienste weiter oben ausgekragt sind. Eine zu grosse Längenentwickelung stört aber den Zusammenhang der Schiffe, man zog daher doch mehr die zentralen Grundrisse vor, so den Rundpfeiler mit 4 Diensten Fig. 399, der seiner statischen Wirkung nach zwischen Kreis und übereck gestelltem Quadrat liegt. Vielfach suchte man sogar die Pfeilertiefe einzuschränken, indem man die Mittelschiffdienste nicht bis zum Boden hinabgehen liess. Auch das ist beim Überwiegen des Mittelschiffschubes berechtigt, da ja die Innenkante in diesem Falle wenig oder gar keinen Druck bekommt.

Es ist überhaupt von Vorteil, den Schwerpunkt des unteren Grundrisses soweit als möglich nach dem Seitenschiffe zu rücken, die oberen Lasten besonders den Schwerpunkt des Scheidebogens aber mehr dem Mittelschiffe zuzuschieben, um dem Überwiegen des Mittelschiffschubes entgegenzuarbeiten. So würde z. B. ein nach den beiden Schiffen unsymmetrisch gebildeter Pfeiler nach Art von Fig. 400, wo die architektonische Ausbildung ihn überhaupt zuliesse, statisch besonders geeignet sein können. Er würde an der wenig gepressten Seite nur einen Dienst, an der stark beanspruchten aber zwei Dienste haben und hier eine breite Basis bilden, ausserdem würde sich der in diesem Falle unsymmetrisch gestaltete Scheidebogen gegen das Mittelschiff schieben. Durch derartige Gestaltungen würde man es selbst erreichen können, den Druck durch den Schwerpunkt des Grundrisses zu lenken.

Eine Aufmauerung auf die Scheidebogen kann vorteilhaft für die Ausbalanzierung der Kräfte verwendet werden, wenn sie sich ihrer Hauptmasse nach gegen das grössere Mittelschiff schieben lässt. Dient sie dazu, das Dachgerüst mit zu tragen, so kommt die Einwirkung des Windes mit in Frage, siehe darüber hinten in einem besonderen Kapitel.

Ausgleich der Wölbschübe.

Am vorteilhaftesten gestalten sich die statischen Verhältnisse eines Pfeilers immer, wenn man Schwankungen in den Lasten ihm fernhalten und die Wölbschübe sogleich oben von allen Seiten ausgleichen kann. Welche Wege man zu diesem Zwecke bei verschieden breiten Schiffen einzuschlagen hat, ist bereits an den Figuren 350 bis 355 gezeigt. Um den grossen Einfluss eines geeigneten Schubausgleiches auf die Pfeilerstärke näher darzuthun, sei ein Beispiel im Anschlusse an das vorhinbehandelte eingeschaltet.

Beispiel II. In der im Beispiel I (S. 154) vorausgesetzten Hallenkirche (Fig. 394) sollen die Mittelpfeiler aus Sandstein mit 20 kg zulässigem Drucke auf das qcm bei kreisrundem Grundrisse so dünn als möglich angelegt werden, damit sie den Raum möglichst wenig beengen. Um die Gewölbeschübe auszugleichen, sollen die Gurte der Seitenschiffe übermauert werden, es ist zu bestimmen, wie schwer die Gurtübermauerung zu wählen und welcher Querschnitt den Pfeilern zu geben ist.

Zunächst sei das Gewicht V_3 gesucht, welches auf einer Gurthälfte aufzumauern ist. Es sei vorausgesetzt, dass die Übermauerung so verteilt wird, dass sie auf den Pfeiler ausser der gesuchten senkrechten Widerlagsbelastung V_3 einen Schub $H_3 = \frac{1}{3} V_3$ ausübt, der in einer Höhe von 1,20 m über Kapitäl also 13,20 m über Grundfläche des Pfeilers angreift. Am dünnsten wird etwa der Pfeiler, wenn der resultierende Druck gerade durch den Mittelpunkt der Grundfläche geht, ist solches der Fall, so wird für diesen Mittelpunkt die Momentengleichung aufzustellen sein.

$$V_1 \cdot 0{,}35 + H_2 \cdot 13{,}00 + H_3 \cdot 13{,}20 = V_2 \cdot 0{,}35 + V_3 \cdot 0{,}35 \cdot + H_1 \cdot 13{,}50.$$

Darin ist nach vorigem Beispiele einzusetzen:

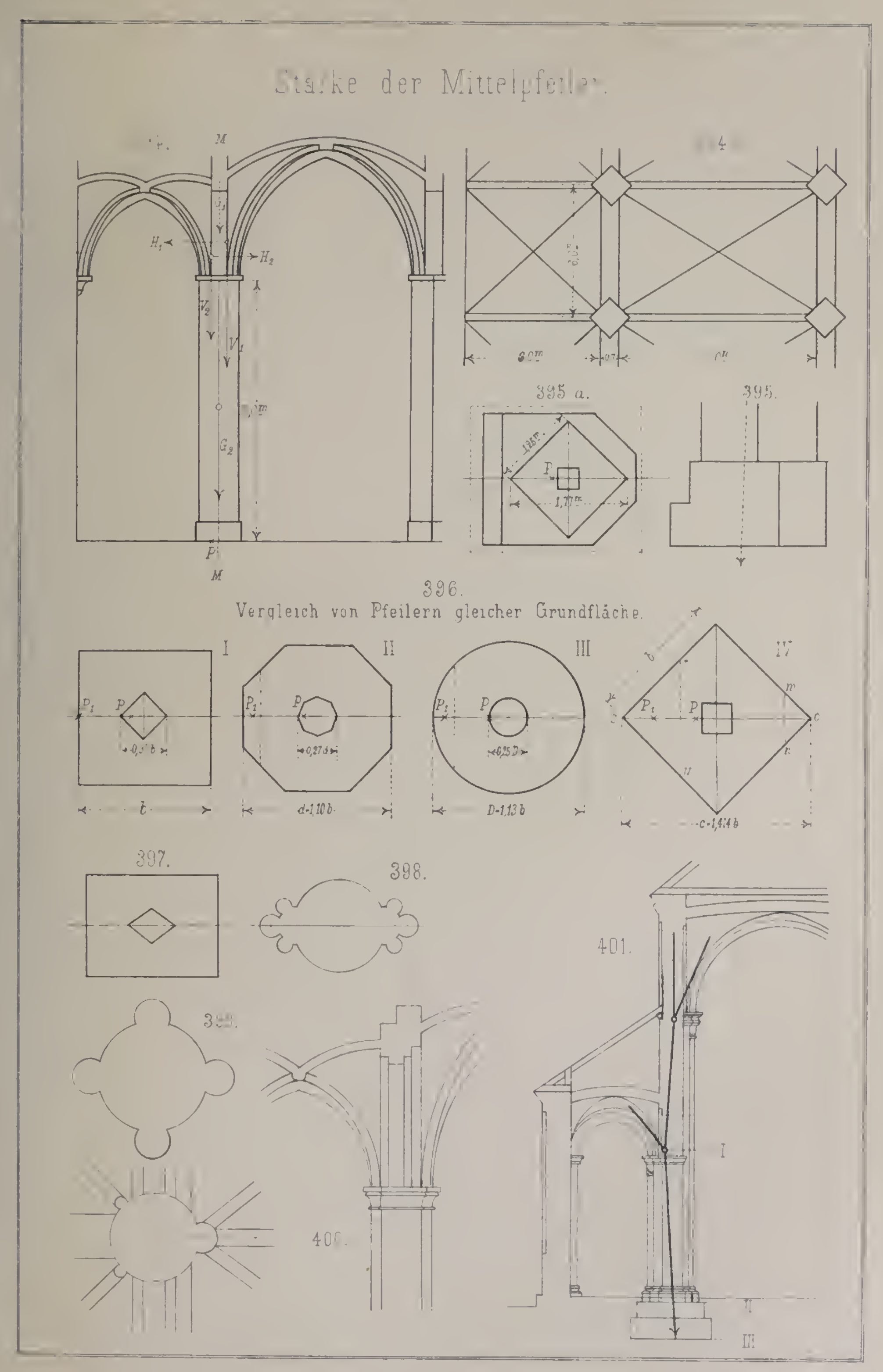
$$V_1 = 10260,\ V_2 = 6840,\ H_1 = 3240,\ H_2 = 2160 \text{ und ausserdem } H_3 = \frac{1}{3} V_3.$$

$$10260 \cdot 0{,}35 + 2160 \cdot 13{,}00 + \frac{1}{3}\, 13{,}20 \cdot V_3 = 6840 \cdot 0{,}35 + 3240 \cdot 13{,}50 + V_3 \cdot 0{,}35$$

Daraus berechnet sich die Unbekannte $V_3 = 3559$ kg.

Wird die Übermauerung aus Sandbruchstein von dem Einheitsgewichte 2300 kg aufgeführt, so sind zur Erzielung dieser Last erforderlich 3559 : 2300 = 1,55 cbm. Der ganze Gurt wird doppelt soviel, also 3,16 cbm Bruchsteinübermauerung erfordern. Es soll nun noch die Pfeiler-

Tafel XL.



395 a.
395.
396.
Vergleich von Pfeilern gleicher Grundfläche.
I
II
III
IV
d=1,10 b
D=1,13 b
c=1,414 b
397.
398.
401.



grundfläche gesucht werden. Bei der Drucklage in der Mitte findet gleichmässige Druckverteilung statt, soll auf jedes qcm 20 kg kommen, so muss das Gesamtgewicht geteilt durch Grundfläche gleich 20 sein:

Das Gesamtgewicht setzt sich zusammen aus Belastung und Eigengewicht, die Belastung ist $G_1 + V_1 + V_2 + V_3 = 11500 + 10260 + 6840 + 3559 = 32159$, das noch unbekannte Eigengewicht $\frac{D^2}{2} \cdot \pi \cdot 12,00 \cdot 2300$.

Die gleichfalls noch nicht bekannte Grundfläche ist $\frac{D^2}{4} \cdot \pi$ qm oder: $\frac{D^2}{4} \pi \cdot 10000$ qcm

$$\text{also: } \left(32185 + \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot 12,00 \cdot 2300\right) : \frac{D^2}{4} \cdot \pi \cdot 10000 = 20$$

$$\text{oder: } \frac{D^2}{4} \cdot 3,14 \cdot 10000 \cdot 20 - \frac{D^2}{4} \cdot 3,14 \cdot 12,00 \cdot 2300 = 32185$$

$D = 0,49$. Das heisst der Pfeiler erfordert nur 0,49 m unteren Durchmesser. Im oberen Teil des Pfeilers liegt der Druck nicht genau zentrisch, so dass hier trotz der geringeren Belastung eine kleine Stärkenzugabe nötig sein könnte, worüber man sich durch die Aufsuchung des Durchgangspunktes in Kapitälhöhe Rechenschaft geben kann. Es treten aber noch andere Rücksichten hinzu.

Bei Pfeilern dieser Schlankheit (Durchmesser kaum $^1/_{24}$ der Höhe) muss schon mit der Gefahr des Ausbauchens bezw. Zerknickens gerechnet werden, ausserdem wird man im Hinblick auf zufällige Lastschwankungen und schliesslich schon des architektonischen Ausdruckes wegen eine grössere Stärke für wünschenswert halten, so dass man den Durchmesser mindestens auf 70 cm vergrössern wird.

Dabei würde unten jedes qcm bei zentralem Drucke eine Pressung von 11 kg bekommen. Das Fundament würde bedeutend gegen den Pfeiler zu erbreitern sein, denn es hat mit seiner Sohle einschliesslich des Eigengewichtes gegen 50000 kg zu übertragen. Kann man dem Erdboden mit Sicherheit 2,5 kg auf ein qcm zumuten, so würde eine Grundfläche von 50000 : 2,5 = 20000 qcm oder 2 qm erforderlich sein, die man aber bei nicht ganz zuverlässigem Boden lieber noch etwas vergrössert. Gerade dort, wo man über der Erde kühn konstruiert, soll man eine gute Gründung nicht verabsäumen, da durch deren Vernachlässigung die meisten Schäden entstehen.

Interessant ist ein Vergleich zwischen der jetzt abgeleiteten Pfeilerstärke gegenüber der im ersten Beispiele für die gleiche Kirche angenommenen. Während die Beanspruchung bei beiden etwa gleich ist, erforderte der quadratische Pfeiler mit 1,25 m Seite 18,7 cbm Mauerwerk, während der 70 cm dicke Rundpfeiler nur einen Inhalt von 4,7 cbm hat, es tritt also eine Ersparnis von rund 14 cbm Werkstein bei jedem Pfeiler ein. Dem steht allerdings ein Aufwand von 3 cbm Bruchsteingemäuer zur Belastung des Gurtes gegenüber, ausserdem muss der äussere Strebepfeiler etwas stärker werden, da die Gurtübermauerung den Schub vergrössert. Das alles ist aber geringfügig gegenüber der Massenersparnis gerade an der Stelle, wo sie so dringend erwünscht ist.

Man erkennt aus diesem Beispiele, wie berechtigt das Streben des Mittelalters war, alle Kräfte möglichst vorteilhaft auszuwägen, man wird ferner einsehen, wie wertvoll für die Ausführung eine wenn auch nur angenäherte (dabei aber genügend umsichtige) Ausmittelung der statischen Verhältnisse der Konstruktionen ist.

Basilika ohne Strebesystem.

Der Gang der anzustellenden Untersuchung ist derselbe, wie der soeben für die Pfeiler der Hallenkirche gezeigte, nur hat man hier ausser dem Pfeiler auch das

hinaufgeführte Stück der Mittelwand in Betracht zu ziehen. Man wird zunächst auf das Dachwerk und den Winddruck keine Rücksicht nehmen und ohne diese die Kraftaussammelung vornehmen, sodann wird man diese besonderen Beanspruchungen hinzuziehen und das Verfahren wiederholen (vergl. über Dachlast und Wind das folgende Kapitel).

Am besten setzt man auf graphischem Wege die Kräfte von oben bis unten zusammen, um zunächst ein anschauliches Bild von dem ganzen Verlaufe der Spannungen zu erhalten, sodann greift man die am meisten gefährdeten Querschnitte zu näherer Prüfung heraus, wobei man der Genauigkeit wegen eine Berechnung mit hinzuziehen kann (vergl. Beispiele auf S. 155 und 157, sowie die Erläuterungen auf S. 140).

In der Regel kommen in Frage: der Querschnitt in Höhe des Anfanges vom Seitenschiffgewölbe (I in Fig. 401), sodann die Sohle des Pfeilers (II) und schliesslich die Sohle des Fundamentes (III).

Durch ein geschicktes Auswägen der Massen in der Oberhand, dem Pfeiler und den Gewölben, wofür das graphische Verfahren in sprechender Weise die Fingerzeige liefert, hat man es in weiten Grenzen in der Hand, die Drucklinie so zu lenken, wie es in jedem Falle wünschenswert ist. Durch Übermauerung der Seitenschiffgurte und das Aufführen verstrebender Mauerkörper unter den Seitendächern kann man besonders günstige Erfolge erzielen. Alle die zahlreichen feinfühlenden und lehrreichen Versuche, die das Mittelalter in diesem Sinne gemacht hat, können wir auf graphischem Wege nachempfinden und dabei unser weniger geschultes konstruktives Gefühl kräftigen und selbst auf gleiche Höhe mit demjenigen der alten Meister erheben.

Wenn das Mittelschiff nicht gar zu hoch hinausragt, so lassen sich auch ohne das zwar vollkommenste aber immerhin auch kostspielige System der Strebebogen statisch sehr befriedigende Lösungen ermöglichen.

Basilika mit Strebebogen.

Endkräfte der Strebebogen

Der Strebebogen übt wie jeder andere gemauerte Bogen an beiden Enden Widerlagskräfte aus, deren Grösse von der gegenseitigen Höhenlage der Stützpunkte, sowie von dem Gewichte, der Spannweite und der Form des Bogens abhängt (vergl. Fig. 402 bis 405). Will man die Stützlinie des Bogens aufsuchen, um zu prüfen, ob die Bogenform geeignet ist, so teilt man den Bogen durch senkrechte Schnitte in Teilstücke (siehe Fig. 402) und setzt mit deren Gewichten in der üblichen Weise die Drucklinie fest (vergl. vorn S. 52). Die Drucklinie liefert zugleich die Endkräfte, um die es sich vorzugsweise handelt. Sonst findet man angenähert auch die Widerlagskräfte durch das vielbesprochene vereinfachte rechnerische oder zeichnerische Verfahren (S. 130). Letzteres, bei dem die Richtung der Endkräfte nach Schätzung angenommen und ihre Grösse nach dem Parallelogramme der Kräfte aus dem Bogengewichte ermittelt wird, ist zur Veranschaulichung in den Figuren 403 bis 405 eingetragen.

Die Figuren 403 bis 405 zeigen, wie mannigfach verschieden die Wirkung des Strebebogens nach der gewählten Form sich gestaltet. Der obere Druck B_1 hat

die Aufgabe, den Wölbschub ganz oder teilweise aufzuheben. Der untere Widerlagsdruck B_1 ist von Bedeutung für die Stärke des Strebepfeilers.

Beim Bogen 493 (St. Ouen zu Rouen) ist der Druck B_2 schräg nach unten gerichtet, das Auflager bekommt also neben dem Horizontalschub H_2 einen Teil des Bogengewichtes V_2 zugewiesen.

Der am häufigsten vorkommende Bogen 494 [illegible] steigt nahezu oder ganz horizontal an und übt demgemäss auch eine horizontale Druckkraft B_3 aus.

Der flachgekrümmte, steil ansteigende Bogen 495 (Halberstadt) übt eine ziemlich [illegible], schräg aufwärts gerichteten Endkraft B_4 aus, d. h. er belastet das obere Auflager nicht, sondern sucht es sogar in die Höhe zu heben. Infolgedessen ist dieser Bogen geeignet, einen Teil des Gewichtes der oberen Mittelschiffmauer aufzunehmen und dem äusseren Strebepfeiler zuzuführen, somit also den Mittelpfeiler zu entlasten.

Für diese und noch weiter variierte Bogenformen bietet das Mittelalter mannigfache Beispiele. Welche Form zu wählen ist, hängt in jedem Falle von der wünschenswerten Wirkung ab. Gewöhnlich will man am oberen Ende weder eine belastende noch hochhebende, sondern nur eine horizontale Schubkraft erzielen, die dem Gewölbeschub sich entgegensetzt. In diesem Falle ist unter anderem ein Viertelkreis geeignet. (Bogen 494.)

[illegible]



Eine wichtige Forderung für einen jeden Strebebogen ist ein genügender Grad von Steifigkeit. D. h. der Bogen muss nicht nur im stande sein, den gewöhnlichen seiner Form entsprechenden Gegendruck zu liefern, sondern er muss bei Lastschwankungen auch andere und zwar besonders „grössere" Kräfte übertragen können, ohne zu zerbrechen. Derartige Schwankungen kann in erster Linie der bei hohen Mittelschiffen ganz beträchtliche Winddruck herbeiführen.

In Fig. 492 sind zwei Stützlinien eingezeichnet, die stärker gekrümmte liefert ziemlich geringe Widerlagskräfte (O M bezw. O N im beigefügten Kräfteplan 492a), dagegen ist der Druck der flachen Linie bei ein und demselben Bogengewichte viel bedeutender (vergl. $O^1 M$ und $O^1 N$ in 492a). Je flacher die Drucklinie, um so grösser werden die Endkräfte, um so grösser natürlich auch die Druckkräfte, welche der Bogen aufzufangen vermag. Daraus geht hervor, dass sich im Bogen, je nachdem ihm eine kleine oder grosse Kraft zugeführt wird, eine mehr gekrümmte oder flach gestreckte Druckübertragung bildet. Die Bogenform muss so beschaffen sein,

dass sie alle für die vorkommenden Belastungen möglichen Drucklinien sicher beherbergen kann.

Die Hauptforderungen an einen guten Strebebogen kann man dahin zusammenfassen, dass er nicht zu schwer ist, für gewöhnlich nur einen mässigen Schub ausübt, in besonderen Fällen aber einen bedeutenden Gegenschub leisten kann.

Verfolgt man unter diesen Gesichtspunkten die Konstruktionen der Alten, so kann man nicht genug staunen über die feinfühlende Art, mit der sie allen Forderungen gerecht zu werden verstanden. Es seien einige Typen von Bogen herausgegriffen.

Fig. 402 und 404 zeigt die gebräuchlichste Gestaltung, bestehend aus einem Bogen mit voller Übermauerung, letztere ist zur Aufnahme der flachen Drucklinien geeignet. Die Übermauerung muss deshalb gut gefügt sein; man kam bald dazu, besonderen Wert auf die zuverlässige Herstellung ihrer Abdeckung zu legen, welche vorzugsweise zur Druckübertragung herangezogen wurde. Das Zwischengemäuer konnte dann leichter gemacht und selbst masswerkartig aufgelöst werden.

Fig. 406 (Amiens) zeigt eine Auflösung des Bogens in eine untere gekrümmte und eine obere gerade Gurtung. Der unteren gebogenen Gurtung fällt die Übertragung der gewöhnlich wirkenden Schübe zu, die obere gerade Gurtung dagegen hat die Aufgabe, die etwaigen variablen Kräfte aufzunehmen. Da jedes ihrer Werkstücke von unten her gestützt wird, befindet sich die ¡Abdeckung immer im Gleichgewichtszustande, gleichviel ob eine grosse oder kleine Längskraft in hr wirkt. Man kann sie vergleichen mit einer Spreize, deren Beanspruchung von dem Werte Null bis zur Grenze des Zerknickens wechseln kann. Wird die Beanspruchung zu gross, so würde ein Ausbauchen eintreten, dasselbe ist nach unten verhindert und nach der Seite erschwert, aber nach oben möglich, wo ihm jedoch wieder das Gewicht der Werkstücke entgegenwirkt.

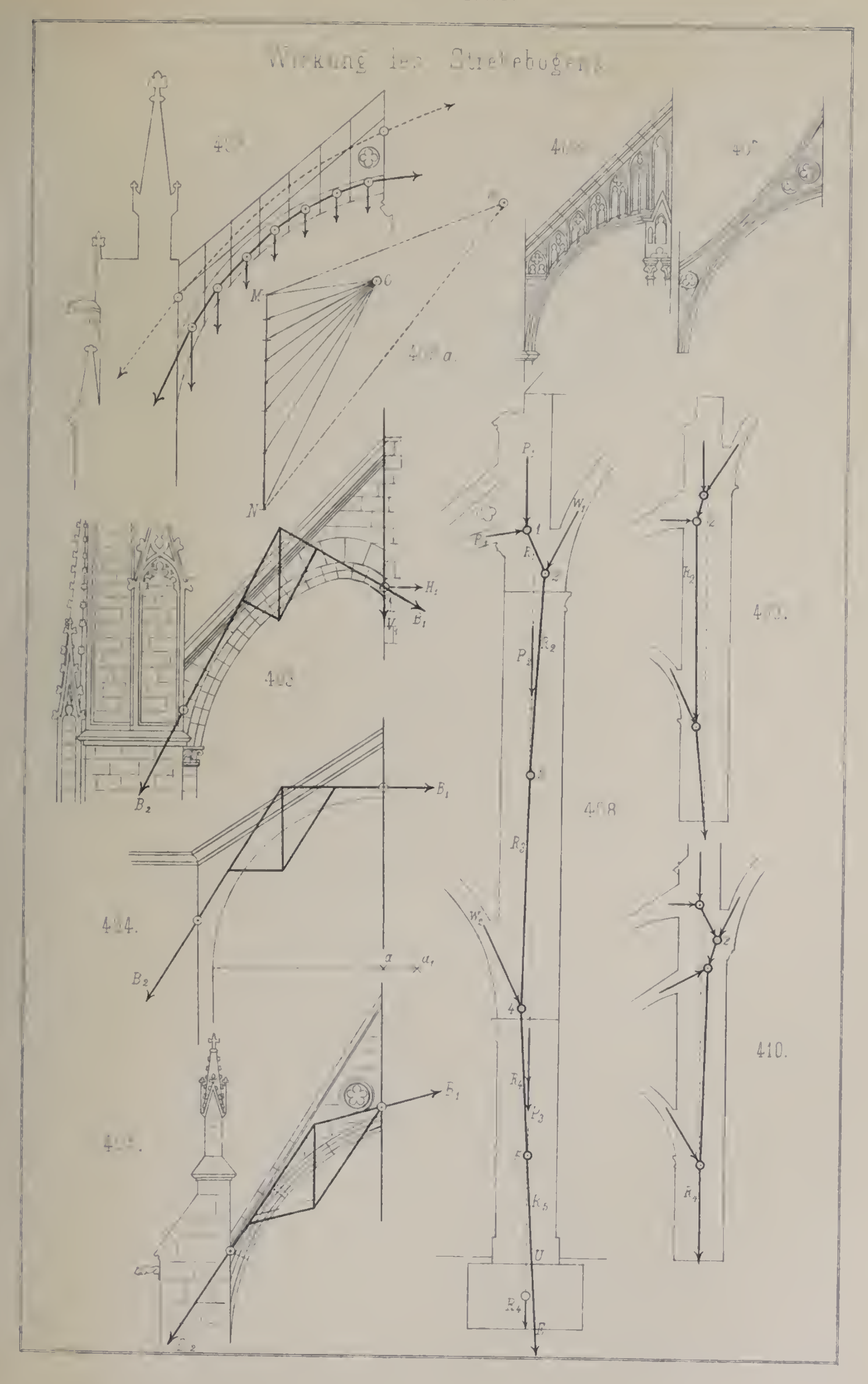
Vereinzelt suchte man auch das Ausbauchen nach oben bei der oberen Gurtung zu verhindern, indem man sie nach unten etwas gekrümmt machte und sie gleichsam als Gegenbogen direkt oder durch Vermittelung von Masswerk mit dem unteren Bogen in Verbindung brachte. Fig. 407. Die mannigfaltigen Bildungen der Strebebogen sind also nicht allein einer architektonischen Wirkung oder einer besseren Wasserleitung zu liebe erfunden, sie dienen vielmehr in erster Linie wichtigen konstruktiven Zwecken.

Bei hohen Mittelschiffen ging man zu zwei übereinander befindlichen Strebebogen über, zum Teil, wie VIOLLET-LE-DUC meint, um den auf eine grössere Fläche sich verteilenden Wölbdruck mit grösserer Basis zu fassen, zum überwiegenden Teil, um der hohen Mauer mehr Steifigkeit gegen die bedeutende Windwirkung zu verleihen. (Über die architektonische Gestaltung der Strebebogen siehe weiter hinten unter der Aufrissbildung der Kirche.)

Drucklinie im Mittelpfeiler unter Einfluss des Strebebogens.

Sollen die statischen Verhältnisse des Mittelpfeilers einer Basilika mit Strebebogen untersucht werden, so sieht man zunächst von Dachlast und Winddruck ab und führt nur für den Mauerkörper mit seinen Gewölben die Ermittelung in der beschriebenen Weise auf graphischem oder rechnerischem Wege durch. Am günstigsten wird die Kraftführung sein, wenn die Mittellinie sich immer möglichst dicht an der Mittelaxe der Wand bezw. des Pfeilers hält. Ein geschicktes Auswägen der Pfeiler- und Wandmassen, sowie der Wölbschübe, besonders aber das Einsetzen eines richtig bemessenen Strebebogenschubes an geeigneter Stelle führen zum Ziel. Fig. 408 stellt eine unter den gewöhnlichen Verhältnissen günstige Kraftführung dar. Der Schub des Strebebogens ist etwas geringer als der des Mittelschiffgewölbes und gelangt etwas höher als dieser zum Eingriff.

Der Gegendruck des Strebebogens B_1 setzt sich im Punkte 1 mit dem Gewichte P_1 des oberen Wandstückes zusammen zu der resultierenden Kraft R_1, die sich nach der Innenseite de


Wirkung des Strebebogens
M
N
O
H_1
B_1
V_1
B_2
P_1
W_1
R_2
P_2
R_3
W_2
R_4
P_3
R_5
U
410.



Mauer hinüberschiebt, bis im Punkte 2 die schräge Widerlagskraft W_1 des Mittelgewölbes hinzutritt. Da der Schub des Gewölbes grösser ist als der des Strebebogens, schiebt sich die Resultierende R_2 wieder nach aussen und setzt sich im Punkte 3 mit dem Gewichte P_2 des betreffenden Teiles der Mittelschiffwand zusammen zu der Kraft R_3, die sich im Punkte 4 mit dem Wölbdruck W_2 vom Seitenschiff vereint. Jetzt ist es von Bedeutung, ob die Differenz der oberen Horizontalschübe vom Mittelschiffe und Strebebogen grösser ist als der Horizontalschub des Seitenschiffes oder kleiner. Wäre der oben verbliebene Restschub grösser, so würde sich die Resultierende R_4 nach aussen wenden, ist er aber, wie in der Figur angenommen, kleiner, so richtet sich R_4 wieder der Innenseite zu und setzt sich schliesslich mit dem Gewicht P_3 vom Pfeiler nebst Scheidebogen zu der Druckkraft R_5 zusammen, welche im Punkte U in das Fundament übertritt und nach Aufnahme vom Gewicht P_4 des Fundamentes schliesslich im Punkte E in den Erdboden übergeleitet wird.

Gerade im unteren Teile des Pfeilers, wo die Last am grössten geworden und die Masse am meisten beschränkt zu werden pflegt, ist eine möglichst zentrische Lage des Druckes erwünscht.

Welche Änderungen durch wechselnde Annahme des Strebebogens eintreten, mögen die Skizzen 409 und 410 erläutern. In 409 ist der Strebebogenschub etwa gleich dem Mittelschiffschube, infolgedessen geht die Kraft R_2 ungefähr senkrecht nach unten; in 410 ist der Schub vom Strebebogen und Seitenschiff zusammen so gross wie derjenige des Mittelschiffes, was dazu führt, dass unten die Resultierende R_4 senkrecht gerichtet ist. Ferner ist in 409 der Strebebogen weit herabgerückt, was die Folge hat, dass die Resultierende R_2 sich nach aussen schiebt, während umgekehrt der hochliegende Strebebogen in Fig. 408 und 410 den Schnittpunkt 2 gegen das Mittelschiffgewölbe hinüberdrängt.

Ebenso wie man durch Lage und Ausbildung des Strebebogens die Drucklinie hin- und herschieben kann, übt die Schwere der einzelnen Wandteile und das Überkragen derselben nach innen oder aussen, ferner das Gewicht und das Pfeilverhältnis der Gewölbe den grössten Einfluss aus. Es giebt so unerschöpflich viele Möglichkeiten, die Drucklinie zu lenken, dass selbst scheinbar sehr verwickelte Verhältnisse bei Hinzutreten von Emporen und Triforien und äusseren Umgängen sich bei richtigem Abwägen meist unschwer bewältigen lassen.

Infolge des elastischen Verhaltens des Mauerwerkes sucht sich der Druck schon von selbst einen möglichst günstigen Weg. Es genügt daher meist nachzuweisen, dass eine genügend günstige Druckübertragung zwanglos möglich ist. Ganz besonders kommt dabei in Frage, dass viele Drucklinien im Strebebogen möglich sind.

6. Dachlast und Winddruck.

Eigengewicht, Schneelast und Winddruck der Dächer.

Da die Dachlast infolge von Wind- und Schneedruck grossen Schwankungen ausgesetzt ist, da sie ausserdem bei Erneuerungen zeitweise fehlen kann, soll man sie nicht als eine „günstige" Belastung in Rechnung stellen, man hat vielmehr zunächst die Festigkeit des Bauwerkes ohne Rücksicht auf Dachgewicht und Wind zu untersuchen und sodann beide hinzuzuziehen.

Eigengewicht des Daches.

Das Eigengewicht des Daches setzt sich zusammen aus dem Gewicht der Binder, der Sparrenlage, der Lattung oder Schalung und der Deckung.

Die Dachbinder ohne Sparrenlage, jedoch mit den zur Konstruktion gehörenden Dachbalken wiegen für jedes qm Dachfläche bei leichter Konstruktion 20—30 kg, bei schwereren Bindern 30—50 kg, das Gewicht eiserner Binder kann ebenso angenommen werden. Sind volle Fussbodenbeläge und bewegliche Lasten auf der Balkenlage zu erwarten, so sind diese besonders zu berücksichtigen.

Die Sparrenlage wiegt für jedes qm geneigter Dachfläche 14—20 kg, die Lattung 5—10 kg und eine Schalung aus $2^1/_2$ cm dicken Brettern 15—20 kg, eine solche aus $3^1/_2$ cm dicken Brettern 25—30 kg.

Für ein qm Deckungsmaterial (ohne Schalung oder Lattung) kann gerechnet werden:

für doppeltes Ziegeldach oder schweres Falzziegeldach 75—100 kg, im Mittel: 90 kg
einfaches Ziegel-, Pfannen- oder leichtes Falzziegeldach 45—65 „ „ „ 60 „
deutsches Schieferdach . . . . 45—60 „ „ „ 55 „
englisches Schieferdach . . . . 30—45 „ „ „ 40 „
Metalldeckung . . . . 8—16 „ „ „ 10 „

Das Gesamtgewicht von Dachkonstruktion und Deckung ist demnach:

Deckungsart:	für 1 qm Dachfläche von	bis	im Mittel	für 1 qm Grundrissfläche im Mittel bei einer Neigung von 30°	45°	60°
doppeltes Ziegeldach	120	175	150	—	210	300
einfaches Ziegeldach	85	140	120	—	170	240
Schiefer, deutscher auf Schalung	95	160	125	—	175	250
Schiefer, engl. auf Latten	75	120	90	105	130	180
Metall	60	95	75	85	105	150

Schneelast.

Die Schneelast wird nach qm Grundrissfläche berechnet, und zwar nimmt man gewöhnlich 60 oder 75 kg auf 1 qm an. Auf steilen Dachflächen haftet der Schnee aber so selten, dass diese Annahmen einer Berichtigung dahin bedürfen, dass bei Dächern über 45° nur eine Last von 30 bis 50 kg auf ein qm Grundriss, bei Dächern von über 60° überhaupt keine Schneelast mehr in Rechnung zu setzen ist. Dagegen sollte man bei sehr flachen Dächern, besonders da, wo Schneeverwehungen zu erwarten sind, lieber um so mehr (vielleicht 90 oder 120 kg im nördlichen Deutschland) rechnen.

Unter Umständen ist es geboten, bei der Berechnung eines Satteldaches sowohl zweiseitige als einseitige Schneelast in Frage zu ziehen.

Winddruck gegen senkrechte Flächen.

Den grössten Winddruck gegen eine senkrecht getroffene Fläche nimmt man in Deutschland gewöhnlich zu 125 kg auf 1 qm an. Diesen Druck würde man z. B. für senkrechte Wände, Giebel, Turmmauern für jedes qm in Rechnung zu setzen haben.

Für besonders ausgesetzte Stellen, Türme und Giebelwände sollte man zur Sicherheit diese Zahl erhöhen, vielleicht auf 150 oder gar 180 bezw. 200 kg. C. W. HASE warnt unter Hinweis auf bestimmte Fälle eindringlich vor einer zu niederen Annahme des Winddrucks. Besonders kann bei hochragenden Giebelwänden ein stossweis wirkender Wind Schwankungen hervorrufen, die zum Umsturz führen.

Der Druck gegen eine geneigte Dachfläche ist geringer. Der Wind, der gegen ein qm Dachfläche trifft (125 kg mal Sinus des Neigungswinkels) wird in eine Richtung senkrecht gegen das Dach und in eine Richtung parallel mit der Dachfläche zerlegt. Der letztere Anteil wird als unwirksam angesehen, was unbedenklich geschehen kann, soweit es sich nicht um flache und rauhe Dachdeckungen handelt, s. u. Der senkrecht zur Dachfläche gerichtete Druck, der allein in Frage kommt, hat die Grösse $125 \cdot \sin\alpha \cdot \sin\alpha$, wenn α der Neigungswinkel des Daches ist. Man pflegt statt α einen Winkel $\alpha + 10^0$ in Rechnung zu stellen, da die Möglichkeit vorliegt, dass der Wind schräg von oben nach unten wirkt.

Wind gegen Dachflächen.

Das Dach muss stark genug konstruiert sein, diesen Winddruck aufzunehmen und auf die Auflager zu übertragen. Augenblicklich kümmert uns der Wind nur, soweit er die Auflager belastet, zu diesem Zwecke ist es wünschenswert, ihn nochmals in zwei Seitenkräfte zu zerlegen und zwar in eine lotrecht nach unten gekehrte Windlast und in einen horizontal gerichteten Windschub. Für verschiedene Neigungen sind diese Kräfte ausgerechnet und zu der nachstehenden Tabelle vereinigt.

Lotrechte Windlast und wagerechter Windschub eines Satteldaches für je 1 qm vom Winde getroffener schräger Dachfläche.

Neigung des Daches	Senkrechte Windlast: auf beide Auflager zusammen $W_\perp = Wo \cdot \sin^2(\alpha+10)\cos\alpha$ für Wo = 125 kg	200 kg	auf das Auflager an der Windseite $A = \frac{3}{4}W_\perp - \frac{1}{4}W_h \operatorname{tg}\alpha$ für Wo = 125 kg	200 kg	auf das Auflager an der windfreien Seite $B = \frac{1}{4}W_\perp + \frac{1}{4}W_h \cdot \operatorname{tg}\alpha$ für Wo = 125 kg	200 kg	Wagerechter Windschub auf beide Auflager zusammen: berechnet nach $W_h = Wo \cdot \sin^2(\alpha-10)\sin\alpha$ für Wo = 125 kg	200 kg	berechnet nach der vollen senkrechten Projektion $Wo \sin\alpha$ für Wo = 125 kg	200 kg
bis 10⁰	14	23	10	17	4	6	2,5	4	22	35
15⁰	22	35	16	26	6	9	6	9	32	52
20⁰	29	47	21	34	8	13	11	17	43	68
25⁰	37	60	26	42	11	18	17	28	53	85
30⁰	45	71	30	47	15	24	26	41	63	100
35⁰	51	82	32	51	19	31	36	57	72	115
40⁰	56	90	32	52	24	38	47	75	80	129
45⁰	59	95	29,5	47,5	29,5	47,5	59	95	88	141
50⁰	60	96	24	38	36	58	72	115	96	153
55⁰	59	94	14	23	45	71	84	134	102	164
60⁰	55	88	0	0	55	88	96	153	108	173
65⁰	49	79	−20	−31	69	110	106	169	113	181
70⁰	41	66	−48	−76	89	142	114	182	118	188
75⁰	32	51	−88	−141	120	192	120	192	121	193
80⁰	22	35	−158	−253	180	288	123	197	123	197
90⁰	—	—	—	—	—	—	125	200	125	200

Wo bezeichnet den Winddruck auf 1 qm senkrechte Fläche.

In den letzten 2 Spalten der Tabelle ist der horizontale Windschub angegeben, den man erhalten würde, wenn man den Wind gegen die volle senkrechte Projektion des Daches berechnet. Es entstehen dabei weit höhere Werte, als sie in den vorhergehenden Spalten aufgeführt sind. Der wahre Wert wird zwischen beiden liegen. Die niedrigen Werte stützen sich auf die Annahme, dass die Seitenkraft des Windes parallel zur Dachfläche vernachlässigt werden darf, was

für die flachen Dächer aber viel zu günstige Werte giebt. Für das Seitenschiffdach einer Basilika müssen die höheren Werte der letzteren Spalten benutzt werden, weil der etwa abgelenkte Wind am oberen Rande des Daches gegen die Mittelschiffwand treffen würde.

Die Verteilung des horizontalen Windschubes auf die Auflager lässt sich nicht allgemein angeben, da sie von der Eigenart der Konstruktion abhängt.

Bei Eisenkonstruktionen pflegt man das eine Auflager fest, das andere beweglich (mit Rollen u. dergl.) zu machen; in diesem Falle hat das feste Anflager bei beiden Windrichtungen den Schub allein zu übernehmen, während das bewegliche höchstens einen dem Reibungswiderstand entsprechenden Teil bekommen kann. Bei fest aufgelagerten Dächern kann man zur grösseren Sicherheit annehmen, dass der Windschub in ungünstiger Weise entweder allein dem linken oder dem rechten Auflager zufällt. Sonst wird man auch nicht zu weit irre gehen, wenn man bei gleichartig aufgelagerten mässig steilen Dächern den horizontalen Windschub etwa nach dem Verhältnis der „senkrechten" Auflagerdrücke auf die beiden Seiten verteilt.

Bei der in der Tabelle angegebenen Verteilung der senkrechten Windlast auf die Auflager ist ein Satteldach vorausgesetzt; wenn dasselbe flach ist, überwiegt der Druck auf das Auflager an der Windseite, bei 45° bekommen beide Auflager gleichen Anteil, sodann erhält das abgekehrte mehr, bis bei über 60° Neigung das an der Windseite liegende Auflager sogar gehoben wird und durch das Gewicht des Daches oder eine Verankerung am Hochkippen verhindert werden muss.

Bei Pultdächern bekommen beide Auflager gleichen senkrechten Druck, wenn das höhere Ende direkt oben am First aufliegt. Ist dagegen das obere Ende durch vermittelnde Konstruktionen so gestützt, dass beide Auflager unten in gleicher Höhe liegen, so wird schon bei 45° Dachneigung das dem Winde zugekehrte Auflager keinen senkrechten Winddruck mehr erhalten, bei grösserer Neigung aber sich unter dem Winddruck ein Umsturzmoment bilden, dem das Dachgewicht ein Stabilitätsmoment entgegenzusetzen hat.

Beispiel: Das Mittelschiff einer Basilika von 12 m Breite und 7 m Jochlänge ist mit einem Schieferdach von 50° Neigung bedeckt. Es sollen die Lasten bezw. Schübe des Daches auf den Schiffspfeiler mit und ohne Wind bestimmt werden.

Für gewöhnlich trägt jeder Pfeiler nur das Eigengewicht des Daches über einer Jochhälfte, dasselbe hat bei 9,4 m schräger Länge einen Flächeninhalt von $9{,}4 \cdot 7 =$ rd. 66 qm. Das Gewicht von Dachwerk und Deckung sei für jedes qm Dachfläche 125 kg (vergl. S. 168), es wird dann das auf einem Pfeiler ruhende Eigengewicht betragen: $66 \cdot 125 = 8250$ kg.

Wird eine Schneelast von 30 kg auf 1 qm Grundriss hinzugerechnet, so würde diese dem Pfeiler noch $7 \cdot 6 \cdot 30 = 1260$ kg Druck zuführen.

Der Wind bewirkt für jedes qm getroffener Dachfläche (hier 66 qm) einen senkrechten Auflagerdruck von 24 bezw. 36 kg (vergl Tabelle), es erhält also der Pfeiler an der Windseite $66 \cdot 24 = 1584$ kg und der Pfeiler an der windfreien Seite $66 \cdot 36 = 2376$ kg. Die grösste Dachlast mit Schnee und starkem Wind (die übrigens kaum zugleich auftreten können) würde für den dem Winde abgekehrten Mittelschiffpfeiler somit auf $8250 + 1260 + 2376 = 11886$ kg wachsen können, während der Pfeiler an der Windseite $8250 + 1260 + 1584 = 11094$ kg erhalten könnte.

Bedeutungsvoller pflegt der horizontale Windschub zu sein, er beträgt in diesem Falle nach der Tabelle: $66 \cdot 72 = 4752$ kg. Selbst wenn man annehmen kann, dass dieser Schub sich ziemlich gleichmässig verteilt, also nur mit etwa 2400 kg für eine Seite gerechnet zu werden braucht, ist er in dieser Höhe nicht belanglos und verdient bei der statischen Untersuchung der Pfeiler Beachtung, wenn nicht, wie nachher gezeigt wird, dafür Sorge getragen ist, dass er dem Strebesystem zugeführt wird.

Handelt es sich um den Winddruck gegen das Dach einer Hallenkirche oder einschiffigen Kirche, so wird an der Windseite durch den Windschub der Gewölbeschub teilweise ausgeglichen, also die Widerlagswand entlastet, an der dem Winde abgekehrten Seite aber addiert sich der Windschub des Daches zu dem Wölbschube und ist daher für grosse steile Dächer bei der Bestimmung der Strebepfeiler bezw. Wandstärke mit in Rücksicht zu ziehen, was keine Schwierigkeit bietet.

Wenn die Mittelpfeiler einer Hallenkirche oder zweischiffigen Kirche die Dachlast nicht mittragen, so werden sie auch vom Windschube weniger berührt. Ruht aber ein Teil des Daches auf dem Mittelpfeiler, so hängt es ganz von der Art der Konstruktion ab, wie stark dieser an der Aufnahme von Wind und Dachlast teilnimmt. Zeigt sich bei den statischen Untersuchungen (nach Massgabe der früheren Beispiele S. 160 und S. 162), dass der Mittelpfeiler dem bald von rechts, bald von links kommenden Windschube ohne unerwünschte Stärkezunahme nicht standhalten kann, so ist es sehr empfehlenswert, oben in der Querrichtung über den Gurten von der einen zur anderen Aussenwand eine Versteifung aufzumauern, welche den Windschub auf die Aussenwände übertragen kann.

Druck des Windes gegen die Wände der Basilika.

Sehr gewaltig gestaltet sich der Winddruck gegen hoch hinaufragende Wandflächen. Bei einschiffigen oder Hallenkirchen pflegen die Aussenwände nebst ihren Strebepfeilern so stark zu sein, dass die vom Winde getroffene Seite den Druck in sich selbst aufnehmen kann. Nur bei sehr grosser Höhenentwickelung wird man darauf Bedacht zu nehmen haben, dass sich der Winddruck über dem Gewölbe zum Teil auf die andere Aussenwand übertragen und dem Wölbschube zugesellen kann.

Winddruck und Wölbschub.

Bei den Mittelwänden der Basilika aber, die auf möglichst dünne Pfeiler zu stützen sind, gehört die Bewältigung des Winddruckes zu den wesentlichsten Fragen, sie kann, wie wir nachweisen wollen, selbst wichtiger werden als diejenige des Wölbschubes; es ist auffallend, dass man die Bedeutung des Strebesystemes für die Windbewegungen bisher so wenig beachtet hat.

Die Mittelwand der grossen Kathedralen ragt 15 bis 20 m und mehr über das Seitenschiff hinaus. Bei 7 m Jochbreite und 20 m freier Höhe würde sie z. B. dem Winde 140qm Fläche in jedem Felde bieten, welche $140 \cdot 120 =$ rd. 17000 kg Druck erhalten würde, abgesehen von dem Windschube des Seitendaches, der vielleicht auch noch 2000 kg auf die Mittelwand abgiebt und dem Schube des Mitteldaches, der bei 5000 bis 8000 kg Grösse einen mehr oder weniger grossen Anteil auf die getroffene Wand leitet. Es wird daher jedes Jochfeld einer derartigen Basilika 20000 bis 25000 kg Windschub erhalten, beim Dom zu Köln rechnet sich sogar noch ein grösserer Wert heraus. Nun wird aber ein Mittelschiffgewölbe von 7 m Jochlänge und 10 bis 14 m Spannweite, also 35—50 qm halber Grundfläche bei Kappen, die ein Stein stark aus Ziegel oder in gleicher Schwere aus natürlichen Steinen gewölbt sind nach Tabelle I (S. 139) nur einen Schub von 7500 bis 11000 kg auf jede Wand ausüben. Das Gewölbe muss demnach schon recht schwer sein, wenn es einen Schub liefern soll, der dem grössten zu erwartenden Windschub gleichkommt.

Zur Bewältigung des Windschubes sind zwei Möglichkeiten, entweder reicht die Stabilität der getroffenen Mittelwand bezw. deren Pfeiler aus, den Schub aufzunehmen, oder es muss der Windschub ganz oder teilweise in oder über dem Gewölbe auf die andere Wand und deren Strebesystem übertragen werden.

Winddruck bei der Basilika ohne Strebebogen.

Der erste Fall, die Aufnahme des Windes durch die getroffene Wand selbst, wird bei Basiliken ohne Strebebogen statthaben müssen, da eine Überleitung auf die andere Mauer hier den Wölbschub mehren würde, dessen Bekämpfung ohnedies bei unverstrebten Basiliken schon grosse Schwierigkeiten macht. Die abgewandte Mauer wird schon genügend mehr beansprucht, wenn sie den ihr zufallenden Teil vom Windschube des Daches sicher aufnehmen soll.

Trägt bei einer mittelgrossen nicht verstrebten Basilika jeder Mittelpfeiler 300 000 kg senkrechte Last und berechnet sich der ganze Winddruck gegen die Mittelwand nebst Dach auf 10 000 kg mit einer durchschnittlichen Angriffshöhe von 16 m über Pfeilerbasis, so würde dieser Winddruck die Lage der Stützlinie unten im Pfeiler merklich nach innen rücken und zwar um ein Stück x, das sich sehr einfach berechnet aus der Momentengleichung:

$$300\,000 \cdot x = 10\,000 \cdot 16{,}00, \text{ also } x = 0{,}53 \text{ m}.$$

Es würde demnach durch den Wind ein Hin- und Herschwanken des Druckes unten um 53 cm zu erwarten sein. Sollen sich diese Schwankungen gerade innerhalb der Kerngrenze bewegen, so muss der Pfeiler für gewöhnlich, d. h. ohne Wind, den Druck in der Aussenkante des Kernes aufnehmen und eine Stärke haben, die bei rechteckigem Grundrisse $3 \cdot 0{,}53 = 1{,}59$ m, bei rundem Grundriss $4 \cdot 0{,}53 = 2{,}12$ m beträgt.

Dabei würden die Kantenpressungen doppelt so gross wie die Durchschnittspressung werden. Bei weniger festem Material würde man mit Rücksicht auf die Kantenpressungen unter Umständen diese Stärken noch zu vergrössern haben, während man bei sehr festem Material ein Überschreiten des Kernes in kleinen Grenzen zulassen könnte. (Ohne Winddruck würde bei Ausbalanzierung der Massen der Druck sich durch die Pfeilermitte leiten lassen und somit die Pressung in niederen Grenzen bleiben, also die Pfeilerstärke entsprechend kleiner ausführbar sein.)

Man ersieht, dass bei mässig hohen Basiliken mit wenig hochgezogenem Mittelschiffe allenfalls die Aufnahme des Windes durch die „getroffene“ Wand noch möglich ist; als man aber im 12. und 13. Jahrhundert die Höhenverhältnisse bedeutend steigerte, ohne die lastende Mauermasse zu vermehren, ja letztere noch möglichst zu verringern suchte, da konnte die Mittelwand dieser Aufgabe nicht mehr genügen, es hätte sonst infolge der Windschwankungen eine riesenhafte Steigerung der unteren Pfeilerdicke erfolgen müssen, die man aber vor allem zu verringern suchte.

Würde z. B. eine hohe Basilika mit einer Pfeilerbelastung von 300 000 kg einen Windschub von 20 000 kg erhalten, der bei der grossen Höhe im Durchschnitt 25 m über Fussboden zur Wirkung käme, so würde der Wind einen Ausschlag in der Drucklinie $x = 20000 \cdot 25{,}00 : 300000 = 1{,}67$ m geben. So dick pflegte man bei einer derartigen Basilika aber den ganzen Pfeiler nur zu machen. Aus diesem Beispiel, dem nur mittelschlanke Verhältnisse zu Grunde liegen, geht hervor, dass der Mittelpfeiler einer hohen Basilika nur einen sehr geringen Teil des Winddruckes übernehmen kann, dass der überwiegende Teil in oder über dem Gewölbe auf die andere Seite zu lenken ist und hier in geeigneter Weise abgefangen werden muss. Da hier die Mittelwand aber noch viel weniger solche Schwankungen in sich aufnehmen kann, wird das Vorlegen der Strebebogen eine Notwendigkeit. Es möge hier die Behauptung aufgestellt sein, dass die Einführung der Strebebogen mindestens ebensosehr durch den Windschub, wie

Winddruck bei der Basilika mit Strebebogen.

durch den Wölbschub veranlasst ist. Erst unter diesem Gesichtspunkte versteht man die Konstruktionen der Alten voll und ganz, erst unter ihm erkennt man z. B. den Zweck doppelt übereinander gesetzter Strebebogen, von denen der obere häufig viel höher angreift, als es der Wölbschub verlangt.

VIOLLET-LE-DUC hat die grosse Bedeutung des Winddruckes übersehen, während ADLER in Berlin, wie ich nachträglich erfahren und auf eine Anfrage von ihm bestätigt erhalten habe, in seinen Vorträgen auf dieselben hingewiesen hat.

Um den Einfluss des Windes zu veranschaulichen, ist in Fig. 411 (Querschnitt des Strassburger Münsters) die Lage der Drucklinien mit und ohne Winddruck eingezeichnet, erstere punktiert gestrichelt, letztere einfach gestrichelt. Der Vorgang bei Einwirkung des Windes von links ist folgender: 1. das Dach übt auf beide Mauern einen nach rechts gerichteten Schub aus, 2. in der vom Winde getroffenen linken Mittelwand und deren Pfeiler schiebt sich die Drucklinie etwas nach rechts, 3. die linke Mittelwand lehnt sich dabei etwas nach rechts über, 4. infolge des Überlehnens der Mittelwand entlastet sich der linksseitige Strebebogen etwas (krummere Drucklinie), 5. beim Überlehnen legt sich die linke Mittelwand gegen das Gewölbe des Mittelschiffes und versetzt dieses in grössere Querspannung, die sich in flacheren Drucklinien durch den Gurt und durch die oberen Teile der Kappen überträgt, 6. durch die grössere Pressung des Gewölbes wird die rechte Mittelwand etwas nach rechts übergeneigt, dabei schiebt sich zugleich in ihr und in dem Pfeiler unter ihr die Drucklinie etwas nach rechts, 7. die rechtsseitigen Strebebogen bekommen durch das Gegenlehnen der Wand grössere Spannung, welche straffere Drucklinien erzeugt, 8. in dem äusseren Strebepfeiler rechts schiebt sich wegen des grösseren Strebebogenschubes die Drucklinie nach rechts.

Man muss sich das ganze System als beweglich denken; trotz der Starrheit der Stoffe sind kleine elastische Bewegungen, wenn sie auch nur nach Millimetern messen, vorhanden, die in entsprechenden Grenzen dem Gefüge des Mauerwerkes keinen Schaden zufügen. Die schwächeren Teile werden sich zuerst etwas fortschieben, die stärkeren werden sich weniger bewegen; haben sich ein starker und ein schwacher Konstruktionsteil unter ähnlichen Verhältnissen in dieselbe Arbeit zu teilen, so wird demnach der stärkere auch den grösseren Anteil an der Leistung auf sich nehmen.

Würde z. B. der Mittelpfeiler unten sehr dünn oder gar auf ein Kugelgelenk gestellt sein, so würde die Mittelwand pendeln, beim geringsten Übermass von Schub von rechts oder links würde sie sich gegen das Gewölbe oder den Strebebogen lehnen und hier den ganzen Schub abgeben, ohne etwas nach unten zu tragen. Würde umgekehrt der Mittelpfeiler sehr kräftig, die obere Verstrebung aber sehr schwach sein oder gar fehlen, so würde der Pfeiler an der Windseite den grösseren bezw. ganzen Schub auf den Boden übertragen. Man hat es demnach in weiten Grenzen durch schickliche Einrichtung der Konstruktion in der Hand, entweder mehr die Mittelpfeiler oder andererseits die äusseren Strebepfeiler mit ihrem ganzen System der Querverstrebung zur Übertragung der Schübe heranzuziehen.

Den Mittelpfeiler wollte man aber so dünn wie möglich machen, daher durfte man ihm möglichst nur senkrechte, zentrale Druckkräfte mässiger Grösse zuführen,

dagegen musste man die Schübe, besonders aber „wechselnde“ Seitenschwankungen ihm möglichst fernhalten, für diese trat ein „um so festeres Strebesystem“ ein.

Die Festigkeit des Strebesystems ist aber weniger durch eine Häufung der Massen, als durch deren richtige Verteilung zu erzielen. Schon bei den Strebebogen ist vorhin darauf hingewiesen, dass ihre Steifigkeit durch eine entsprechende Gestaltung erzielt werden kann, dass sie im übrigen aber ziemlich leicht sein können.

Windübertragung durch die Gewölbe.

Ein wichtiges Glied in der Kette der Querversteifungen bildet das Mittelschiffgewölbe, dem die Aufgabe zufällt, wechselnde Schübe zu übertragen. Es lohnt, das Gewölbe auf Grund dieser seiner Funktion kurz zu betrachten. Damit das Gewölbe eine grössere Schubübertragung, oder was dasselbe sagt, eine grössere seitliche Einspannung aufnehmen kann, müssen sich in ihm flachere Drucklinien als gewöhnlich bilden können, andernfalls wird es unter der grösseren Pressung im Scheitel gehoben und eventuell zerstört werden, es würde aus diesem Grunde ein leichtes Tonnengewölbe zur Querversteifung wenig geeignet sein, während ein ebenso leichtes Kreuzgewölbe dieselbe durch die Eigenart seiner Form zu leisten vermag.

Ein Gewölbe kann sich überhaupt nur im Gleichgewicht halten, wenn die äusseren Kräfte, welche es von den Seiten her einspannen, genau so gross sind wie die Schubkräfte, welche das Gewölbe nach aussen abgiebt, wie ja überhaupt nur ein Ruhezustand denkbar ist, wenn überall sich Kraft und Gegenkraft aufhebt. Würde die einspannende Kraft zu gross, so würde sie das Gewölbe in die Höhe drängen, würde sie zu klein, so würde sich das Gewölbe nach unten durchdrücken. Für gewöhnlich wird der Gewölbeschub aufgehoben durch die umgekehrt gerichteten Gegendrücke der Widerlager, die als einspannende Kräfte für das Gewölbe anzusehen sind. Tritt an der einen Seite ein Winddruck hinzu, so gesellt er sich zu dem Gegendruck des Widerlagers zu einem grösseren Gegendruck, dem sich unbedingt ein grösserer Schub des Gewölbes entgegenstellen muss, wenn das Gleichgewicht erhalten bleiben soll. Ein Gewölbe kann bei gleichbleibender Schwere aber nur einen grösseren Schub liefern, wenn sich flachere Drucklinien in ihm bilden können. Somit erzeugt der Winddruck im Gewölbe grösseren Schub und flachere Drucklinien. Dieser grössere Schub wirkt nun aber nicht allein an der Windseite, sondern auch an der dem Winde abgewandten Seite, wo er lediglich durch den Gegendruck der Widerlagskörper aufgehoben werden muss und zwar bei Strebebogen zum grössten Teil durch diese.

Im ungünstigsten Falle kann der Schub, den diese Strebebogen an der windfreien Seite bekommen, sich steigern bis zu der Summe aus gewöhnlichem Wölbschub, dem durch das Gewölbe übertragenen Winddruck gegen die Mittelwand und dem ganzen (durch das Dachwerk eventuell auch Gewölbe übertragenen) Winddruck gegen die Dachfläche. Gewöhnlich werden sie aber weniger beansprucht werden, da die Mittelpfeiler einen Teil der Leistung auf sich nehmen.

Wie gesagt, würde ein Tonnengewölbe zur Übertragung des Windschubes sich wenig eignen, da in ihm die Drucklinien nur wenig Spielraum haben, es müsste denn das Gewölbe sehr dick, hoch hintermauert und überdies so schwer und stark schiebend sein, dass der Winddruck dem Wölbschub gegenüber relativ klein sein würde. Ganz anders verhält es sich mit dem Kreuzgewölbe, selbst wenn seine Kappen sehr dünn sind, pflegt der Gurt einen höheren Querschnitt zu haben, in welchem flachere Drucklinien möglich sind; das ist aber nicht der einzige Weg, der Querschnitt eines Kreuzgewölbes in der Mittelachse ist horizontal oder bei überhöheten Gewölben immerhin ziemlich flach, in diesen oberen Teilen des Kreuzgewölbes können sich flachere Stützlinien bilden, hier ist eine Querverspannung, oder wenn man will, Querverspreizung möglich, wie sie durch die eingezeichneten Linien im Querschnitt 411 und im Grundriss 412 zu Tage treten. Was der Gurt mit

seiner Hintermauerung nicht leisten kann, muss der Wölbscheitel auf sich nehmen. Der im Wölbscheitel übertragene Wind kommt bei der abgekehrten Seite oben an der Mauer bei *cd* zum Angriff und sucht die Mauer auszubauchen, dem muss ihre Steifigkeit entgegenstehen, sie wirkt wie ein im Grundriss liegender, scheitrechter Bogen uud überträgt den Druck auf die Stützpunkte *e* und *f*. Hier müssen die Strebebogen anfallen, um diesen Druck aufzunehmen. Damit löst sich das Rätsel, weshalb sehr viele Strebebogen dicht unter der Dachtraufe sitzen. Natürlich darf ein weit oben angreifender Strebebogen nicht zu schwer sein, damit er für gewöhnlich die Mauer nicht zu sehr nach innen drängt. Da es sich darum handelt, auch den tiefer wirkenden Wölbschub aufzunehmen, muss der Strebebogen mit einer hohen senkrechten Fläche gegenfallen (vgl. Fig. 403 und 405). Wird diese Fläche zu hoch und der Bogen zu unerwünscht schwer, so ist es besser, an seiner Stelle zwei anzuwenden, einen höheren, der vorwiegend zum Abfangen des schwankenden Windschubes dient, und einen tiefer liegenden, der den mehr stetigen Wölbschub aufnimmt.

Die Übertragung des Winddruckes im Wölbscheitel gemäss Abb. 412 beansprucht die abgekehrte Wand *cf* stark auf Durchbiegung, dieselbe darf daher über den Fenstern nicht zu dünn sein, man hat sie bei alten Beispielen oft in geschickter Weise durch aussen und innen über den Fenstern vorgekragte Bogen erbreitert und durch auflastende Wimperge widerlagsfähiger gemacht.

Versteifung durch die Gurtbogen.

Diese Beanspruchung der Wand lässt sich ganz oder teilweise vermeiden, wenn man den Gurtbogen genügend steif macht und ihn dadurch an Stelle des Wölbscheitels zur Übertragung des Windschubes geeignet macht, wie es der Durchschnitt 413 in zwei Abarten links und rechts andeutet. Es muss sich nun in der „vom Winde getroffenen Wand" der Druck auf die Punkte *a* und *b* übertragen, was hier leicht möglich ist, da sich diese Übertragung auf die ganze Höhe verteilt und ausserdem der Druck in der hier dem Wölbschub entgegengekehrten Richtung weniger schadet. Man würde durch die Gurtversteifung dem mittleren Teile des Gewölbes die Schwankungen mehr fern halten und ausserdem in der Gurtebene ein fest geschlossenes Strebesystem erhalten, das einen grossen Bogen gleich sich vom Erdboden links durch Strebepfeiler, Strebebogen und steifen Gurt hindurch bis zur Sohle des Strebepfeilers rechts hinüberspannt. Ob Gurtversteifungen in der durchbrochenen Art von Fig. 413 bei historischen Beispielen ausgeführt, ist in diesem Augenblick nicht bekannt, eine gute Zwickelausmauerung und Übermauerung der unteren Gurtschenkel verrichtet auch im kleinen dieselben Dienste. — Oft kann man beobachten, dass die Alten an richtiger Stelle Gurtübermauerungen angelegt hatten, welche die Neuzeit aus Unkenntnis beseitigt hat.

Nicht unerwähnt soll bleiben, dass auch die Dachbalken einen wesentlichen Anteil an der Übertragung des Windschubes und an der ganzen Querversteifung nehmen können und in vielen Fällen in der That nehmen. Mindestens sind sie geeignet, den ganzen Windschub des Daches, sobald die Wand an der Windseite sich nur minimal überneigt, auf die abgekehrte Wand und die dortigen Strebebogen zu tragen; das vermögen sie selbst dann, wenn sie gar nicht fest mit der Wand verbunden, sondern einfach aufgelagert sind (durch die Reibung an der Auflagerfläche).

Durchbiegung der Mittelwand.

Es ist zum Schlusse noch eine andere Wirkung des Windes auf die Mittelwand hervorzuheben. Eine hochhinausragende Wand wird in dem Stück zwischen Seitenschiff und Mittelschiffgewölbe auf Durchbiegung beansprucht in ganz ähnlicher Weise,

wie ein senkrecht stehendes Brett unter einem seitlichen Druck auszubiegen sucht. Dabei entsteht an der Innenseite Zug, an der Aussenseite Druck. Fig. 414 *I* stellt die Verteilung der Spannungen in einem Querschnitt des Wandpfeilers schematisch dar.

Die Grösse der Spannungen berechnet sich durch Aufsuchen des Biegungsmomentes in ähnlicher Weise, wie bei einem belasteten Balken mit dem einzigen Unterschied, dass dieser wagerecht, der Wandpfeiler aber senkrecht steht. In diesem Falle würde der Fusspunkt des Pfeilers als der eine Auflagerpunkt und das obere Wandende am Gewölbe als der andere Auflagerpunkt anzusehen sein. Das grösste Biegungsmoment würde in einer gewissen Höhe oberhalb des Seitenschiffdaches zu erwarten sein, über die einfache Art seiner Aufsuchung soll nichts weiter hinzugefügt werden, es möge der Hinweis auf diese Windwirkung und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen genügen.

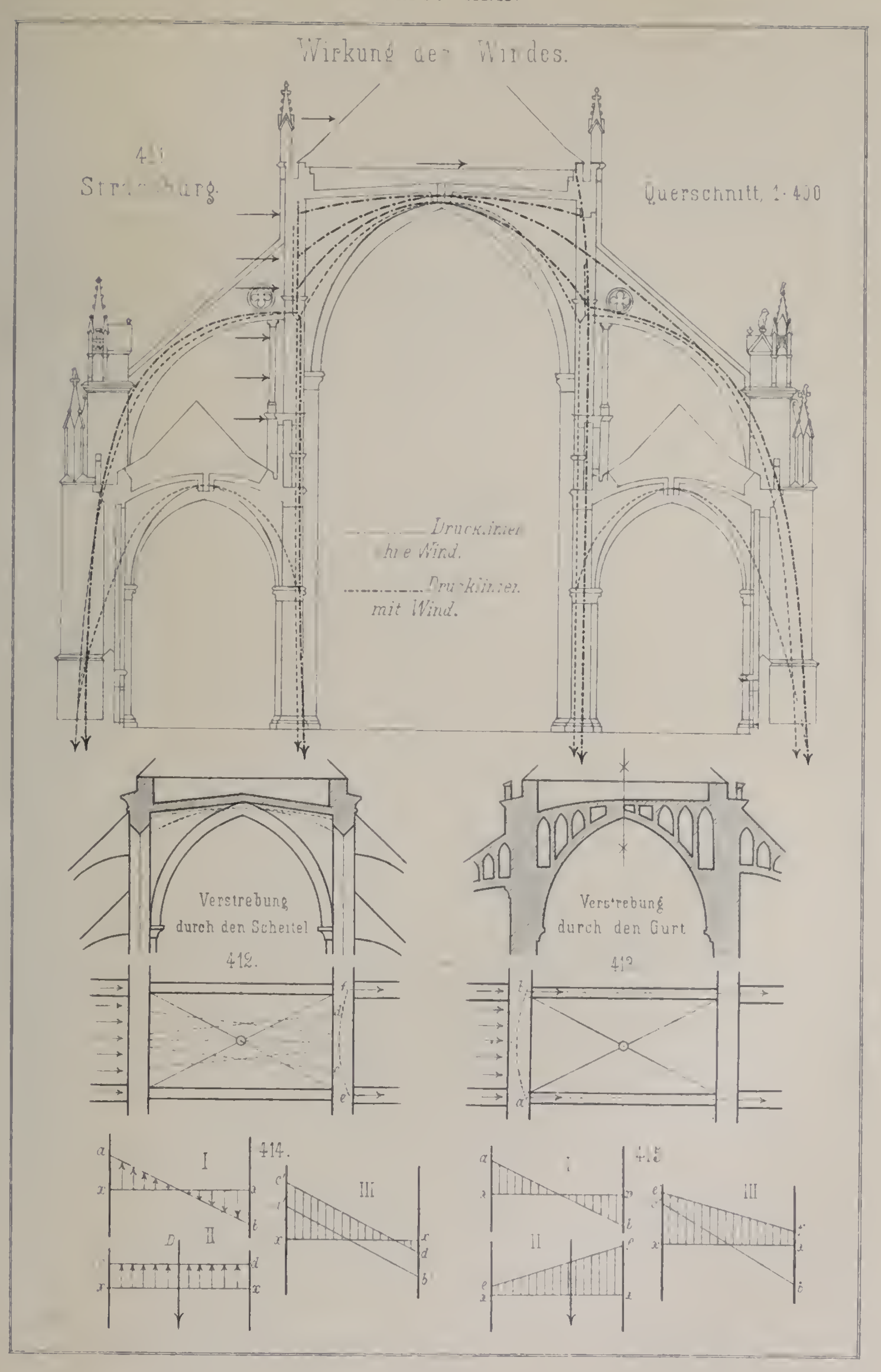
Zu den in Fig. 414 *I* dargestellten Zug- und Druckspannungen des Querschnittes gesellt sich der durch die oberen Lasten hervorgerufene Wand- oder Pfeilerdruck D (414 *II*). Geht D gerade durch den Schwerpunkt des Querschnittes, so erzeugt er gleichmässig verteilte Druckspannungen. Die Spannungen von *I* und *II* addieren sich algebraisch, so dass die Gesamtbeanspruchung des Querschnittes durch Fig. 414 *III* gekennzeichnet wird. An der Aussenkante addieren sich die „Druckspannungen" von *I* und *II*, an der Innenkante subtrahieren sich „Zug und Druck". War hier der Zug grösser, so kann noch ein Überschuss von Zug verbleiben, wie es die Figur zeigt. Der letztere wird vermieden und die ganze Spannungsverteilung gleichmässiger, wenn der Druck D nicht in der Mitte, sondern etwas näher der Innenkante angreift, wie es durch die entsprechenden Spannungsbilder von Fig. 415 veranschaulicht wird.

Somit macht es der Winddruck gegen hochragende Mittelwände erwünscht, die Drucklinie in der oberen Wandhälfte mehr an der Innenkante zu halten, für den unteren Teil des Pfeilers ist es aber aus ähnlichen Gründen besser, den Druck von der Innenkante fern zu halten; es würde deshalb eine Druckführung etwa nach Art der Fig. 410 als günstig zu bezeichnen sein. Dieses kann nach den Ausführungen von Seite 167 aber erzielt werden durch einen nicht zu tief angreifenden und nicht zu stark schiebenden Strebebogen. Zwei übereinander befindliche Strebebogen können auch hier wieder um so besser wirken, sie werden überhaupt das obere Wandende sicherer führen, so dass es mehr die Eigenschaften eines fest eingespannten Balkenendes annimmt.

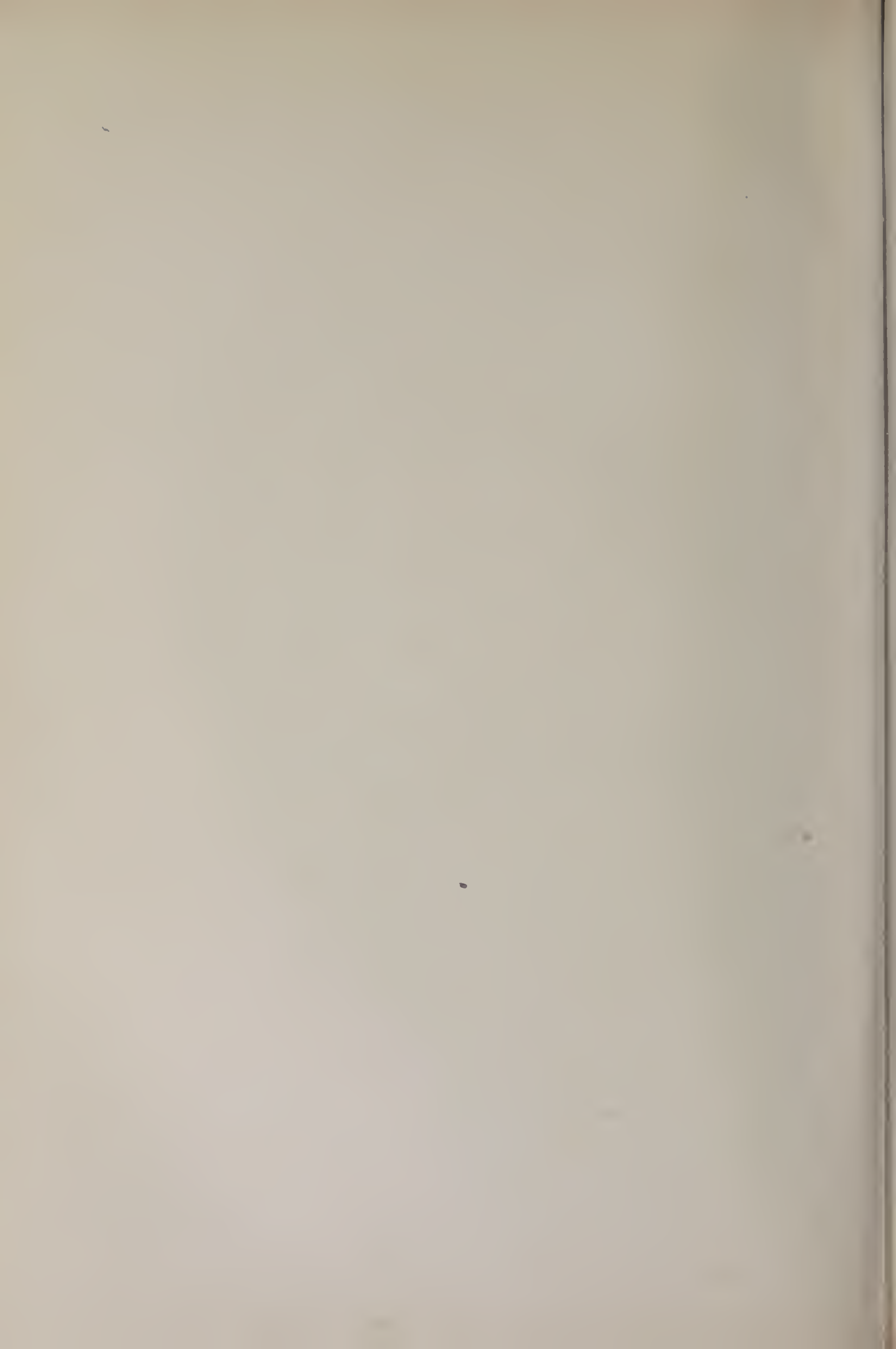
Auch diese durchbiegende Einwirkung des Windes auf die Mittelwände ist nicht zu unterschätzen, sie ist bei den grössten Kathedralen so bedeutend, dass die Querschnitte für die Wand bezw. die Wandpfeiler gerade richtig bemessen sind, um sie genügend sicher aufzunehmen. Dass der gewaltige Winddruck gegen die grossen Fensterflächen gleichfalls grosse Beachtung fordert und auch in der Konstruktionsweise gefunden hat, sei an dieser Stelle nur beiläufig erwähnt.

Wenn nicht der beschränkte Raum Einhalt geböte, würden wir gern den Einfluss des Windes auf das Strebesystem noch weiter verfolgen, um so mehr als ihm unseres Wissens an keiner anderen Stelle eine hinlängliche Beachtung geschenkt ist. Jedenfalls kann auch diese Betrachtung nur dazu dienen, die Hochschätzung vor den alten Meistern zu erhöhen; je mehr man in die Einzelheiten ihrer Konstruktionen eindringt, umsomehr lernt man sie bewundern. Unsere jetzige Zeit hat auf dem Gebiete der Steinkonstruktion trotz aller unserer Theorien nichts hervorgebracht, das sich an Kühnheit des Gedankens und an Grossartigkeit der konstruktiven Auffassung auch nur annähernd mit jenen Werken der Alten zu messen vermöchte.

Tafel XLII.



Wirkung
Querschnitt, 1:400
mit Wind.
Verstrebung
durch den Scheitel
412.
durch den Gurt
414.
I
II
III
I
II
III



III. Pfeiler, Säulen und Auskragungen.

1. Die Gliederung der Pfeiler.

Die Last der Bogen und Gewölbe oder einer flachen Decke kann durch einen gegliederten Pfeiler oder eine einheitliche Säule aufgenommen werden.

Der Pfeiler leitet die Vielgliedrigkeit der getragenen Teile z. B. des Gewölbeanfanges, in das einfache Viereck des Fundamentes hinüber, indem er die mehr oder minder reichen Glieder vermittelst der Kapitäle in gewisse Gruppen sammelt, welche letzteren dann durch den Sockel eine nochmalige Vereinfachung und zugleich Erweiterung erfahren und so sich auf das Fundament setzen.

Die Säule dagegen ist die einfache Stütze ohne Richtung, sie bildet in ihrem möglichst eingeschränkten Schafte einen Zwischensatz zwischen dem Kapitäle und dem Sockel, indem sie lediglich diesen beiden Teilen die Aufgabe zuweist, einerseits zu den getragenen Gliedern, andererseits zu der tragenden Unterlage überzuleiten.

Beide Gestaltungsweisen finden ihre Wurzeln in der antiken Kunst, aus welcher sie die romanische übernahm, ihren Bedürfnissen gemäss entwickelte und auf die gotische vererbte.

Hat die Stütze einer verhältnismässig einfachen Aufgabe zu dienen, hat sie eine Balkendecke, eine Bogenstellung oder auch die einander gleichen Gewölbe eines saalartigen Raumes zu tragen, so wird sich auch ihre ganze Ausbildung ziemlich einfach und regelmässig vollziehen. Treten dagegen zusammengesetzte Forderungen auf, sollen die durch breite Scheidebogen getrennten Gewölbe benachbarter Schiffe von verschiedener Weite, vielleicht auch noch verschiedener Höhe durch den Pfeiler gestützt werden, so ist der Anlass zu den unerschöpflichen, tausendfältig verschiedenen Lösungen gegeben, die uns das Mittelalter von der romanischen Zeit ab in immer neuen Abwandlungen vor Augen führt.

Vorzüglich die Form des gegliederten Pfeilers war schon in der Spätzeit der romanischen Kunst und im Übergangsstil zu einem Reichtume der Ausbildung gelangt, welchem die gotische Kunst des XIII. Jahrhunderts nur insofern etwas Wesentliches zuzusetzen fand, als das Gewölbesystem, mithin auch die Grundrisse der Gewölbanfänge, eine verwickeltere Gestaltung angenommen hatte.

Der gegliederte eckige Pfeiler.

Der Pfeiler der romanischen Kirche besteht zunächst aus einem viereckigen Kerne, welcher die Scheidebogen zwischen den Schiffen zu tragen hat, und sodann aus den etwaigen Vorlagen, welche den Gurt- und Gratbogen der Mittel- und Seitenschiffsgewölbe unterstehen (Fig. 416 und 417). Sobald nun die Stärke der Scheidebogen so gross ward, dass ihre Ausführung aus zwei konzentrischen Ringen zu geschehen hatte (Fig. 418), musste auch der Grundriss des Pfeilers eine verwickeltere Form erhalten, indem er entweder dem Scheidebogenprofil folgend eine rechteckige Vorlage erhielt (Fig. 418a), oder aber eine vorgelegte Halbsäule, welche durch ihr Kapitäl die viereckige Bogenvorlage *a b c d* Fig. 419 trug. Die den Schiffen zugewandte Vorlage konnte dann am schicklichsten nach demselben Grundrisse gebildet werden, indem die Gratbogen den rechtwinkligen Ecken und die Gurtbogen den Halbsäulen aufzusitzen kamen (s. Fig. 419 links). Der nächste Zusatz ergab sich, sobald statt der Gratbogen wirkliche vorspringende Kreuzrippen Eingang fanden, die einerseits auf den Ecken der Kreuzarme kein angemessenes Auflager hatten, andererseits den Gurtbogen entsprechend Säulenvorlagen zu verlangen schienen. Vgl. die rechte Hälfte von Fig. 419.

Pfeiler-vorlagen.

Waren die vorgelegten Halbsäulen ursprünglich nach dem Halbkreis gebildet, so würden folgerichtig die den Kreuzrippen unterstehenden nur einen Viertelkreis bilden müssen, welcher kein ausreichendes Auflager gewähren konnte und sehr matt wirkte. Es mussten also zunächst letztere nach einem grösseren Kreisteile gebildet werden, dann gingen auch die den Flächen vorgelegten über den Halbkreis hinaus. Die hierdurch gewonnene Lostrennung von dem Kerne, die selbständigere Wirkung dieser Teile entfernt sich vom Charakter der Halbsäule, weshalb auch von nun an dieser Name unpassend wird.

Eingebundene u. angelehnte Dienste.

In der mittelalterlichen Steinmetzensprache heissen diese Säulchen Dienste, und es empfiehlt sich gerade dieser Ausdruck durch seine Bestimmtheit und Ausschliesslichkeit. Die Dienste sind dem Kerne des Pfeilers entweder völlig eingebunden, so dass die einzelnen Schichten der Werkstücke durch die ganze Grundrissgestaltung gehen, oder sie sind dem Pfeilerkerne angelehnt, so dass sie nur durch Kapitäl und Basis, zuweilen aber bei grösserer Höhe noch durch sogenannte Bunde oder Gürtel sich damit verbinden.

Die selbständigen Dienste bestehen aus hohen, nicht auf dem Lager, sondern auf dem Haupt stehenden Werkstücken, welche den Kern entweder frei umstehen, so dass noch ein Zwischenraum bleibt, oder darangelehnt sind. Die Ringe bilden eine den Grundriss konzentrisch umziehende Profilierung, welche dem Kern eingebunden ist und so auch die angelehnten Stücke in ihrer Lage hält, s. Fig. 420. Zuweilen sind sie aber gar nicht ausgesprochen und bilden alsdann nur eine niedrigere eingebundene Schicht. Letztere Anordnung ist hauptsächlich der entwickelten gotischen Kunst eigen, während die erstere besonders häufig in den Werken des Übergangsstiles, doch auch noch in einzelnen frühgotischen Werken wiederkehrt.

Zunächst ist es das Material, von welchem die Wahl zwischen den beiden Konstruktionsweisen, den eingebundenen oder selbständigen Diensten abhängt; denn

es muss der Stein von möglichst gleichförmigem Gefüge sein, um die Stellung aufs Haupt zuzulassen. Aber selbst bei demselben Material, bei verschiedenen nur kurze Zeit auseinanderliegenden Werken einer und derselben Stadt, wie z. B. den Kirchen Notredame und St. Benigne in Dijon, finden sich nebeneinander angelehnte und eingebundene Dienste, und beide Konstruktionsweisen haben sich bewährt durch fast sechs Jahrhunderte. In einzelnen deutschen Kirchen, wie in Wetter, finden sich beide Konstruktionsweisen miteinander verbunden; während in Deutschland sonst das Einbinden der Dienste die allgemeine Anordnung bildet. Die Erfahrung scheint für beide gleich günstig zu sein.

Welche der beiden Lösungen ästhetisch höher steht, ist wohl nur von Fall zu Fall zu entscheiden, anzuführen ist, dass man bei einigen noch erhaltenen Beispielen die Pfeiler mit einem farbigen Anstrich versah und dann über den Kern die Lagerfugen weiss aufmalte, die Dienste aber von letzteren frei liess, wie z. B. in dem früheren Anstrich der Elisabethkirche in Marburg und in der Kirche in Wetter. Eine ausführliche Behandlung findet die Konstruktion der angelehnten Dienste bei Viollet-le-duc in dem Artikel „Construction".

Vermehrung der Dienste.

Der in der rechten Hälfte von Figur 419 gezeigte Pfeilergrundriss findet sich noch fast unverändert in einzelnen frühgotischen Werken, wie an den „Kreuzpfeilern" der Kirche zu Haina und von St. Blasien in Mühlhausen, wo dann die Grundform des Kernes die des regelmässigen griechischen Kreuzes wird, so dass die Kreuzarme mit den vorgelegten Diensten die Scheidebogen und die in den Winkeln des Kreuzes stehenden Dienste die Kreuzrippen tragen (s. Fig. 421 links). Von dem Kern des Pfeilers blieben demnach noch die dem oberen Ring der Scheidebogen unterstehenden Ecken sichtbar. Bald aber fing man an, auch diese zu gliedern, d. h. dieselben durch einen rechtwinkligen Ausschnitt zu öffnen und in letzteren einen Dienst zu stellen, und gelangte so zu dem in der rechten Hälfte von Fig. 421 dargestellten Grundriss. In gewisser Hinsicht findet sich auch dieser letztere schon in jenen romanischen Pfeilerbildungen, bei denen die rechteckigen Kanten durch eingesetzte Säulchen gegliedert waren. Während aber diese Säulchen unterhalb des Pfeilerkapitäles und oberhalb des Pfeilersockels in die rechte Ecke zurückgingen, fällt an diesen gotischen Pfeilern jeder derartige Übergang weg, jeder Dienst hat sein besonderes Kapitäl, seinen besonderen Sockel und beide Teile umhüllen den Kern vollständig, soweit dessen Kanten etwa zwischen den Diensten noch sichtbar sind.

Ein nach diesem Prinzipe gebildeter „gewöhnlicher Schiffspfeiler" würde aus 12 Diensten bestehen, von denen jedem Gurtbogen und jeder Kreuzrippe einer, sowie jedem Scheidebogen drei unterständen. Von diesen Diensten würden, da in den frühgotischen Werken die Gurtbogen stärker als die Kreuzrippen sind, da ferner der untere Ring des Scheidebogens, als frei vortretend, gleichfalls stärker ist als die darüber sichtbaren Teile des oberen Ringes, auch die den erwähnten Bogen unterstehenden, also die in den Achsen des Pfeilergrundrisses stehenden Dienste stärker sein müssen als die übrigen. Um den Grundriss völlig regelmässig zu machen, könnten die stärkeren und die schwächeren Dienste unter sich gleich angenommen werden, obschon eine derartige Regelmässigkeit in dem Wesen der Sache nicht begründet ist. Nach diesem System sind die Hauptpfeiler im Schiff der Kollegiatkirche in Mantes gebildet.

Verschiedene Gliederung in beiden Richtungen.

Mit der Zahl der Bogen würde demnach die Zahl der Dienste zunehmen. So bestehen in dem Langhaus der Kathedrale zu Rouen die Scheidebogen aus drei Ringen, so dass *a b* in Fig. 422 die Hälfte eines Scheidebogenprofils darstellt, sie erfordern daher je fünf Dienste, und der ganze Pfeiler ist aus 10 Diensten zusammengesetzt.

Zu beachten ist aber die Stellung dieser Dienste. Während die den Scheidebogen unterstehenden auf die gewöhnliche Weise, wie in Fig. 421, mit dem Kerne verbunden sind, haben die den Schiffen zugewandten, die Gewölberippen tragenden Dienste eine abweichende Form. Die Ursachen mögen darin zu suchen sein, dass es für den Wölbanfang ungünstig war, die Gurtrippe zu weit vorzuziehen. Es blieben daher die rechtwinkligen Ecken des Kernes fort. Da nun hierdurch der regelmässige Pfeilergrundriss schon aufgegeben war, so lag auch kein weiterer Grund vor, hinsichtlich der Durchmesser der Dienste eine keineswegs im Wesen der Sache begründete Gleichheit zu behaupten. So sind in Figur 422 die den unteren Ring des Scheidebogens tragenden Dienste, welche also in der Längenachse der Pfeilerstellung zu liegen kommen, stärker als die in den Querachsen liegenden, die Gurtrippen tragenden, und somit erhält der ganze Pfeilergrundriss eine wohl symmetrische, aber nicht mehr konzentrische, sondern in die Länge gezogene Gestalt. Noch entschiedener tritt das Längenverhältnis in den Pfeilern der Kreuzkirche in Breslau hervor.

Dass das Wesen der Sache die Symmetrie nach zwei Richtungen nicht gebietet, ersieht sich am deutlichsten aus den Fällen, in welchen man infolge der Beibehaltung des regelmässigen Grundrisses bei abweichender Bogengestaltung sich veranlasst sah, die Scheidebogenprofile unsymmetrisch zu machen. Als Beispiele hierfür führen wir die Schiffspfeiler der Münster von Strassburg und Freiburg i. B. an; Fig. 423 zeigt den Grundriss der ersteren.

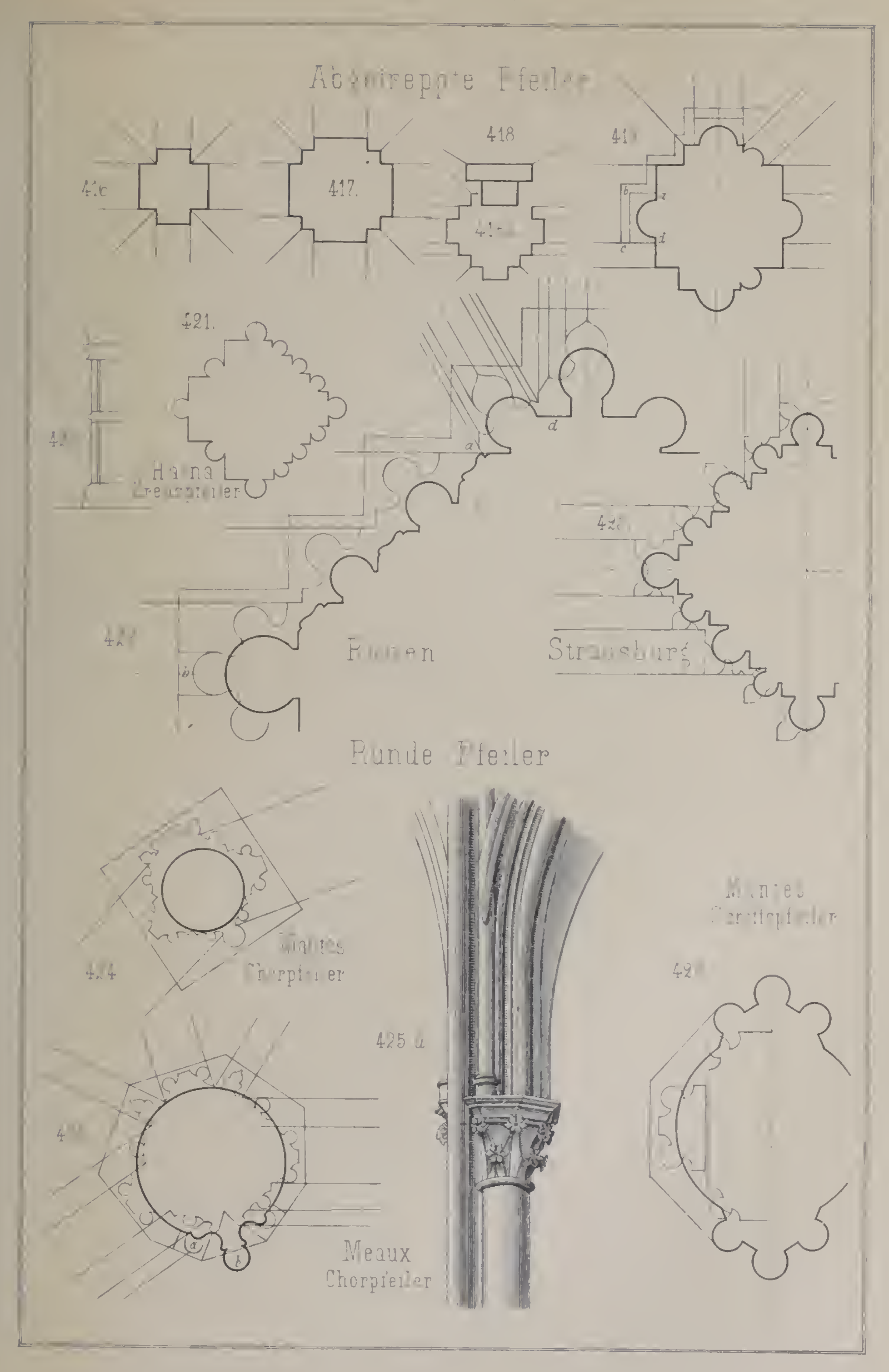
Man war von dem Prinzip ausgegangen, dass die Stärke der Gewölberippen von der Spannung des Gewölbes abhängig sei, dass daher die Gurt- und Kreuzrippen des Mittelschiffes stärker sein müssten als die der schmäleren Seitenschiffe. Die Pfeiler haben acht starke in den Achsen und den Diagonalen der Pfeilergrundrisse stehende und acht schwächere dazwischen befindliche Dienste. Während nun die Gurtrippe der Seitenschiffsgewölbe auf einem der stärkeren Dienste aufsitzt, forderte der stärkere Gratbogen des Mittelschiffes deren drei, also einen starken und zwei schwächere. Wenn hiernach die Kreuzrippen des Seitenschiffes auf einen der schwächeren Dienste zu stehen kommen, werden die des Mittelschiffes von den in der Diagonale stehenden starken getragen, konnten also wieder das angemessene Stärkenverhältnis erhalten. Nun bleiben für die Scheidebogen je vier Dienste übrig, welche denselben die aus Fig. 423 ersichtliche Gestalt vorschreiben, so dass das Profil derselben nach den Seitenschiffen aus drei, nach dem Mittelschiff aus zwei rechtwinkligen Absatzen besteht. Das nämliche Verhältnis findet sich im Münster zu Freiburg.

Bei den Vierungspfeilern und bei den die inneren Ecken der Türme tragenden Pfeilern führt die Gleichheit der auf den Pfeilern sitzenden vier Scheidebogen und vier Kreuzrippen von selbst auf einen regelmässigen Grundriss der Pfeiler.

Die Pfeiler von Rouen (Fig. 422) zeigen noch einige bezeichnende Eigentümlichkeiten. So sind die Dienste zum Teil mit dem Kern des Schaftes durch einen Hals, d. i. durch ein geradlinig begrenztes, sich an ihre hintere Seite setzendes Stück verbunden. Es hat dieses den Vorteil, dass die Wirkung der Dienste kräftiger wird und dass durch die freiere Stellung ein grösserer Raum für die Entwicklung der Kapitäle sich ergiebt. Eine reichere Gestaltung ist ferner dadurch gewonnen, dass die zwischen den Diensten noch sichtbaren Kanten des Pfeilerkernes durch eine Gliederung gebrochen sind, welche sich unter den Dienstkapitälen

Auflösung des Kernes zwischen den Diensten.

Tafel XLIII.



Abgetreppte Pfeiler
417.
418
421.
Runde Pfeiler
425 a
Meaux
Chorpfeiler



totläuft und in der Höhe der Dienstsockel in das Viereck durch ein Deckblatt zurückgeht. Immerhin sprechen sich noch die rechtwinkligen Absätze, die treppenförmige Gestalt des Kernes aus. Wie die letztere hinsichtlich der den Schiffen zugekehrten Dienste verlassen wurde, das haben wir schon oben gezeigt. Sie hört völlig auf, sobald der rechte Winkel bei *d* sich ausrundet, also die Dienste untereinander nur noch durch Hohlkehlen verbunden sind, wie das z. B. die denselben Pfeilern gegenüberstehenden, den Eingang zu den zwischen den Strebepfeilern angelegten Kapellen bildenden Dienste zeigen. In Rouen freilich sind beide Gestalten durch ein Jahrhundert getrennt, sie stehen sich aber noch schroffer und im Zwischenraum von vielleicht kaum einem Jahrzehnt gegenüber in den Pfeilern der Schiffe von Strassburg und Freiburg. Während nämlich die ersteren, wie aus Fig. 423 ersichtlich, noch genau dem älteren System folgen, sind in den letzteren die sonst in gleicher Zahl und Weise aufgestellten Dienste unmittelbar durch Hohlkehlen miteinander verbunden, wie in dem oberen Viertel von Fig. 423 durch punktierte Linien angegeben ist. Man hat für derartige, reicher gegliederte Pfeiler den Ausdruck Bündelpfeiler eingeführt, der aber besser auf die ganz in Einzelstützen aufgelösten Pfeiler beschränkt wird (s. u.).

Die der mittleren und späteren Periode angehörigen freieren Pfeilergliederungen, von welchen die Figuren 437—440 Beispiele bieten, werden wir später besprechen.

Der Rundpfeiler und seine Gliederung.

Rundpfeiler ohne Dienste

Ob der gotische Rundpfeiler aus der romanischen Säule entstanden, oder ob die werdende gotische Kunst die Vielgliedrigkeit des romanischen Pfeilers nochmals in der Einheit gesammelt, um von ihr aus die Teilung auf einem neuen Wege zu versuchen, ist eine zunächst für unsern Zweck unerhebliche Frage. An den frühgotischen Werken in Deutschland findet sich der einfachere Rundpfeiler nur selten, desto häufiger aber ist er in Frankreich und kommt hier vom Ende des 12. bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts sowohl ausschliesslich in ganzen Reihen vor, z. B. in Notredame zu Paris und zu Dijon, als auch abwechselnd mit gegliederten Pfeilern bei sechsteiligen Kreuzgewölben in der Weise, dass die gegliederten Pfeiler die Gurt- und Kreuzrippen, die Rundpfeiler aber die Halbierungsrippen tragen.

Die viereckige Grundfläche der Kapitälplatte ist die nächstliegende, zumal sie auch der ursprünglichen Grundform des Werkstückes am besten entspricht. In solcher Weise sind die Rundpfeiler der Kathedralen von Paris und Laon mit viereckigen nur schwach abgeeckten Kapitälen abgeschlossen. Die mächtige Ausladung, welche derartige Kapitäle besonders in der Ansicht über Eck gewinnen, trägt zu ihrem stattlichen, feierlichen Ansehen nicht wenig bei und bietet Gelegenheit zur Anordnung einer reichen und kräftigen Ornamentik. Bei kräftigen Rundpfeilern mit verhältnismässig niedrigen Kapitälen ist dagegen der Übergang vom Kreis in das Viereck schwer und unschön. Der vielgliedrigen Gestaltung des Bogenanfanges entspricht die einfach quadratische Form ausserdem am wenigsten. Sie musste daher anderen Grundformen, zunächst der des regelmässigen Achtecks,

weichen, sobald man das Prinzip des gegliederten Pfeilers auf den Rundpfeiler übertrug und die Gestaltung des Bogenanfanges für die des Pfeilerkapitäles massgebend sein liess. Indes führt eine jede regelmässige Grundform der Kapitälplatte in vielen Fällen Schwierigkeiten und Beengungen herbei, besonders wo die Richtung der Scheidebogen von der einfach geradlinigen oder sich rechtwinklig schneidenden abweicht, wie dies z. B. bei jedem von einem Umgang umzogenen polygonen Chorschluss der Fall ist (s. Fig. 424). Die französischen Werke zeigen vielfache, nur durch eine Abwandlung der Grundform der Kapitälplatte bewirkte Lösungen dieser Schwierigkeiten, auf welche wir später zurückkommen werden. Ein anderes Mittel möchte jedoch darin zu finden sein, dass nicht nur das Kapitäl, sondern auch der Pfeiler die reguläre Grundform verlässt und mit einem oder mehreren nach dem Grundriss des Bogenanfangs gestellten Diensten verbunden wird.

Rundpfeiler mit Diensten.

Ein mit grosser Folgerichtigkeit durchgebildetes Beispiel dieser Art zeigen die Rundpfeiler in dem Chorpolygon der Kathedrale zu Meaux, Fig. 425. Es tragen dieselben auf den nach einem unregelmässigen, der zehneckigen Grundform des Chores angepassten Achteck gebildeten Kapitälen die Scheidebogen, die Gurt- und Kreuzrippen vom Gewölbe des Chorumganges und die Dienste *a*, auf denen die Schildbogen des Chorgewölbes ruhen. Die Kreuzrippen dieses Gewölbes dagegen werden von den Diensten *b* getragen, welche, von Grund aus angelegt, sich mit dem cylindrischen Pfeiler durch flache Hohlkehlen in Verbindung setzen, in welche letztere, wie die perspektivische Ansicht Fig. 425*a* zeigt, das den Scheidebogen unterstehende Kapitäl sich einschneidet.

Aber auch für die Schiffe trennenden Pfeiler haben zuweilen die Eigentümlichkeiten der Bogensysteme auf ähnliche von der völlig regelmässigen Grundform abweichende Pfeilerbildungen geführt. Ein derartiges Beispiel bietet die Kollegiatkirche zu Mantes, deren Pfeiler wegen der sechsteiligen Gewölbe wechselnde Stärke haben. Fig. 426 zeigt die Grundform der schwächeren Pfeiler, von welchen die Halbierungsrippen ausgehen. Hier trägt der cylindrische Kern ausschliesslich die Scheidebogen, ist jedoch auf den den Schiffen zugekehrten Seiten mit je drei Diensten verbunden, so dass die dem Seitenschiffe zugewandten die Gurt- und Kreuzrippen desselben, die dem Mittelschiffe zugewandten aber die Halbierungsrippe und die Schildbogen tragen.

Eine ähnliche Anordnung zeigen die Pfeiler der noch fast romanischen, aber durch spätere Erneuerungen stark alterierten Kathedrale zu Besançon. Hier sind auch über dem Mittelschiffe gewöhnliche oblonge Kreuzgewölbe gespannt, so dass die dem Mittelschiffe zugekehrten Dienste dieselbe Aufgabe haben wie die des Seitenschiffes. Die Grundform weicht von der der Pfeiler zu Mantes nur darin ab, dass die Dienste statt durch einen geradlinig begrenzten, dem eigentlichen Cylinder sich anfügenden Kern durch Hohlkehlen miteinander verbunden sind.

Unverkennbar ist die Klarheit und Folgerichtigkeit einer derartigen Anordnung. Sie würde sich, wie im Münster zu Strassburg bei stärkeren Rippen im Mittelschiffgewölbe, umgestalten lassen, wenn etwa dem cylindrischen Kerne auf der dem Mittelschiffe zugewandten Seite drei, auf der dem Seitenschiffe zugewandten nur ein Dienst angefügt würde, von welchem letzteren Gurt- und Kreuzrippen des Seitenschiffes ausgingen, während die stärkeren Rippen des Mittelschiffes

jede von einem besonderen Dienste getragen würden, oder wenn nach dem Seitenschiffe zu drei, nach dem Mittelschiffe fünf Dienste sich fänden.

Ebensowohl lässt sich aber auch bei den Schiffspfeilern der Grundriss des Bogenanfanges mit einer gesetzmässigen Stellung der Dienste in der verschiedensten Weise in Einklang bringen.

So ist eine durch die früheste und mittlere Periode der gotischen Kunst hindurchgehende, gerade an den edelsten Werken vorkommende Pfeilerform durch die Verbindung des cylindrischen Kernes mit vier in den Achsen der Grundform aufgestellten Diensten gebildet. So einfach diese Form auch an sich ist, so bringen die geringfügigsten Abwandlungen hinsichtlich des Verhältnisses der Dienstdurchmesser zu dem des runden Kernes, die mehr oder minder ausgesprochene Selbständigkeit und Abtrennung der Dienste von dem Kerne, eine sehr verschiedenartige Wirkung hervor. An den älteren Werken, wie in den hessischen Kirchen zu Marburg, Haina und Wetter, dann in den französischen Kathedralen von Reims, Amiens, Dijon sind die Dienste verhältnismässig stark, ihre Mittelpunkte weiter vorgerückt, ihre Körper häufig noch durch einen geradlinig begrenzten Hals vom Kerne getrennt, dadurch wird die Wirkung demgemäss lebendig und kräftig. In den Kirchen zu Friedberg und Frankenberg, im Schiffe der Kirche zu Wetzlar nehmen die Durchmesser derselben schon ab und sind die Mittelpunkte näher an den Umkreis des Pfeilers gerückt; noch mehr tritt das Verwachsen hervor in der Stephanskirche zu Mainz, wodurch dann trotz der starken Durchmesser der Dienste eine im Vergleiche zu den erstgenannten Werken flaue und weit minder günstige Wirkung hervorgebracht wird. Vergrössert wird dieser Nachteil noch durch die wenig vortretende Sockelgliederung, die geringe Bedeutung der Deckplatten der Kapitäle, den kleinen Massstab des Laubwerkes in denselben, kurz der Unterschied der letzteren Pfeiler gegen die obenerwähnten ist trotz der ähnlichen Grundform auffallend. Sehr verschiedenartig ist ferner die Beziehung, in welche ein so gebildeter Pfeiler zu den Bogenanfängen tritt.

Rundpfeiler mit vier gleichen Diensten.

Nach dem älteren Systeme tragen die den Schiffen zugewandten Dienste nur die Gurtbogen, die in der Längenachse stehenden die unteren Ringe der Scheidebogen und der Kern die oberen Ringe des letzteren, sowie die Kreuzrippen. Es findet sich diese Anordnung zunächst bei gleich hohen Schiffen, in allen den erwähnten hessischen Kirchen und den älteren westfälischen. Man hat sie in neuerer Zeit mehrfach mit Unrecht als eine noch unentwickelte bezeichnet.

Überhaupt sind derartige Bezeichnungen für die Formenbildung der frühgotischen Werke fast ebenso geläufig, wie die von Ausartung, Verdorbenheit, Trockenheit für die Werke der späteren Periode. Beide Arten der Formenbildung sind nicht so leichthin zu beurteilen. Beide bilden nur den Ausdruck der konstruktiven Systeme der betreffenden Werke. Letztere aber erfordern in jedem einzelnen Falle sehr gründliche Untersuchungen, um verstanden zu werdeu, Untersuchungen, zu welchen man nicht allein guten Willen, sondern auch günstige Gelegenheit haben und selbst einige Erfahrungen in der Konstruktion zubringen muss. In allen Fällen aber darf angenommen werden, dass eine derartige Untersuchung mindestens zur Vermeidung der eben erwähnten Schlagwörter führen dürfte.

So ist die oben erwähnte Anordnung der Bogenanfänge auf den mit vier Diensten verbundenen Rundpfeilern zunächst schon darin begründet, dass die Grundfläche des Pfeilers selbst,

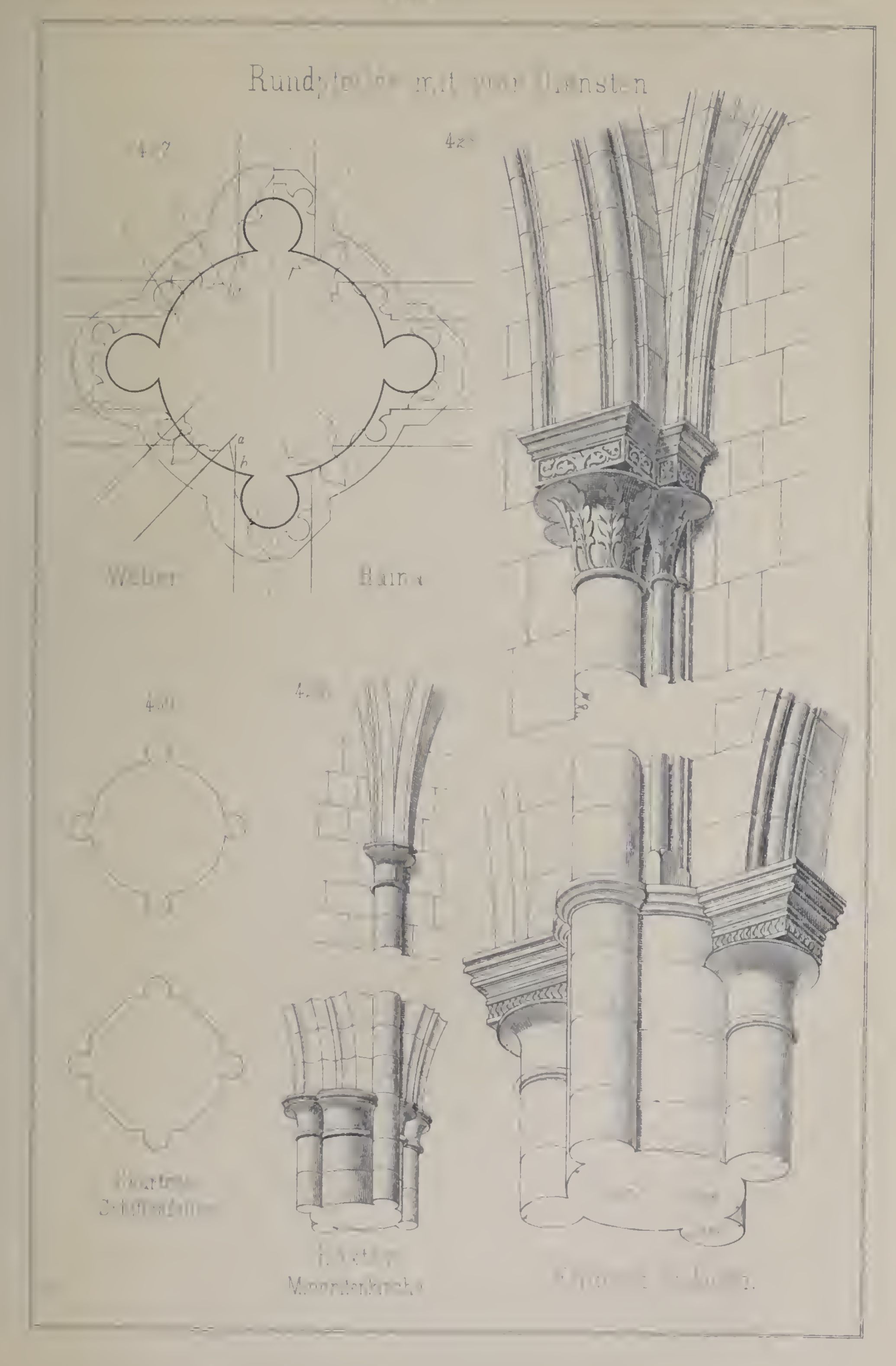
um dem Überschuss des Gewölbeschubes des Mittelschiffes gegen den des schmäleren Seitenschiffes zu widerstehen, eines die Breite der Scheidebogen übersteigenden Durchmessers bedarf und somit sich ein Überschuss an tragender Fläche bildet, der sich von selbst zum Aufsetzen der Kreuzrippen herleiht (s. die rechte Hälfte von Fig. 427). Ausser diesem der einfachen Praxis entnommenen Grund lassen sich aber auch aus dem inneren Wesen der Sache hervorgehende anführen. Das ganze Gewölbe wird durch die Gurt- und Scheidebogen in Joche abgeteilt. Um diese Abteilung zu bilden, genügen zunächst die unteren Ringe der Scheidebogen. Letztere verhalten sich daher den Gurtbogen parallel, sind in den älteren Werken häufig nach dem gleichen Profile mit denselben gebildet, treten am stärksten vor und werden daher von den in den Achsen des Pfeilers aufgestellten Diensten getragen. Die Kreuzrippen aber sind es, welche den Charakter des gotischen Gewölbes am deutlichsten aussprechen und den grössten Teil des Gewölbeschubes auf die Pfeiler übertragen, mithin die eigentliche Schubkraft darstellen. Die Verstärkung durch den oberen Ring des Scheidebogens aber ist nötig, um die auf den Scheidebogen ruhende Mauer zu tragen, deren Last in Verbindung mit der der darauf ruhenden Dachkonstruktion die Widerstandskraft des Pfeilers vergrössert. Mit Recht trägt daher der Kern des letzteren die Kreuzrippen, welche die auseinandertreibende Kraft bezeichnen und jene Verstärkungen der Scheidebogen, welche den Widerstand dagegen kräftigen, während die Dienste wieder den abteilenden und die Pfeiler gleichsam verspannenden und absteifenden Bogen unterstehen.

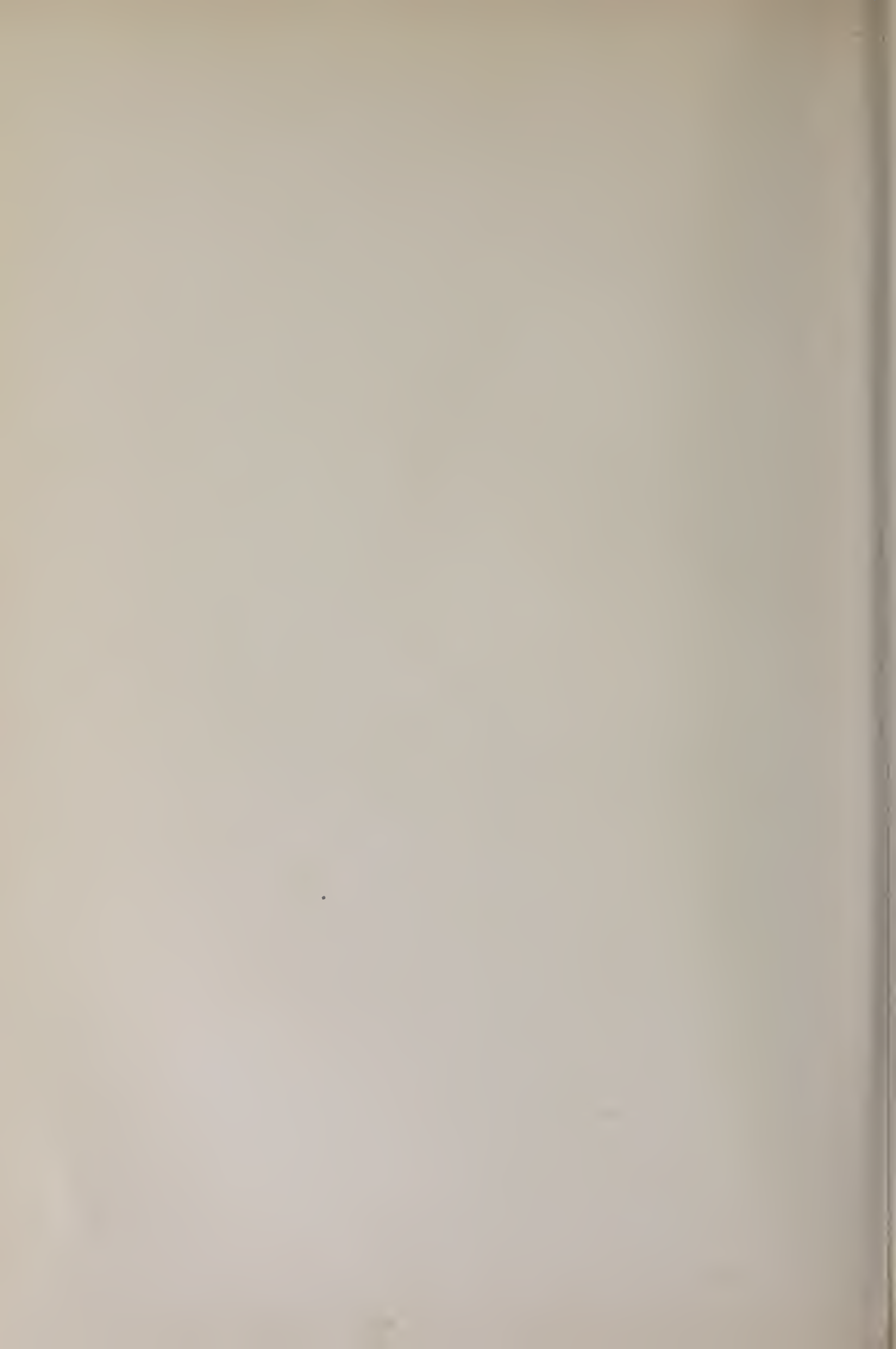
Durch das teilweise Verwachsen der Bogenanfänge werden ferner gewisse Anordnungen möglich, die wieder in gewissen Eigentümlichkeiten ihren Grund haben. So sind in der Kirche zu Wetter die Kreuzpfeiler nicht stärker als die Schiffspfeiler und gerade stark genug, um die vier darauf treffenden Scheidebogen aufzunehmen, so dass die Kreuzrippen sich zwischen letzteren heraussetzen und mit je zweien derselben in ihrer Basis verwachsen. Diese Lage der Kreuzrippe ist dann, um gleiche Spannungen zu erzielen, auch auf den Schiffspfeilern beibehalten, so dass dieselbe mit einer Hälfte des Profiles mit den Scheidebogen verwächst und zwischen ihr und den Gurtrippen ein Stück der Kappenflucht *a b* in der linken Hälfte von Fig. 427 sichtbar wird.

Wenn wir bisher nur die Anlage von Pfeilern dieser Grundform in Kirchen mit gleichhohen Schiffen im Auge hatten, so findet gleichwohl dasselbe Verhältnis der Bogen auch bei einem überhöhten Mittelschiffe statt, wie die Kathedralen von Reims, Amiens, Chartres, Dijon und viele deutsche Kirchen zeigen. In den Seitenschiffen bleibt die Anordnung unverändert (vergl. rechte Hälfte von Fig. 427), im Mittelschiffe aber steigt der Dienst über Kapitälhöhe hinaus, um oben den Gurtbogen zu tragen. Als bezeichnendes Beispiel ist in Fig. 428 die dem 13. Jahrh. angehörende klare Pfeilerentwicklung aus der St. Jacobikirche zu Einbeck*) mitgeteilt. Der Dienst des Mittelschiffes wird in Kapitälhöhe von einem Ringgesimse umzogen, das über den Pfeilerkern fortläuft und sodann in den Abakus der seitlichen Dienstkapitäle übergeht. Über diesem Gesimse setzen sich zu jeder Seite des Mittelschiffdienstes kleine Profile oder Dienste auf den Pfeilerkern, welche bestimmt sind, oben die Rippen und Schildbogen des Mittelschiffgewölbes zu tragen. Diese kleinen Dienstglieder finden auf dem von den Scheidebogen nicht verbrauchten Teilen des Pfeilerkernes in ähnlicher Weise ihren Aufstand, wie sie sich sonst auf den verfügbaren Kapitälrand eines dienstlosen Rundpfeilers aufsetzen würden.

Bei den älteren Rundpfeilern mit vier Diensten pflegten, wie gesagt, die Schiffsdienste nur die Gurtbogen zu tragen, während die Rippen sich auf den Kern stützten. Später entwickeln sich gewöhnlich Gurt und Rippen zu-

*) Nach einer Aufnahme von C. W. Hase zu Hannover.





sammen aus einem Dienste, es bleibt dann der Kern nebst den beiden Seitendiensten lediglich den Scheidebogen zur Verfügung. Als Beispiele seien St. Stephan zu Mainz und die Minoritenkirche zu Höxter erwähnt, der letzteren gehört die in Fig. 429 dargestellte einfache Entwicklung des Pfeilers an. Auch die Pfeiler vieler norddeutscher Ziegelkirchen sind hier zu erwähnen.

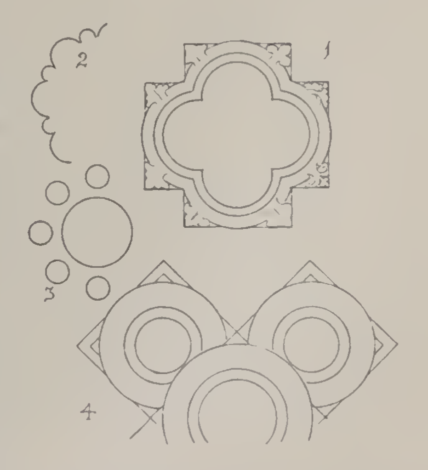
Eine eigentümliche Anordnung findet sich zu St. Blasien in Mühlhausen. Die Schiffspfeiler sind wie in Wetter ebenso dick wie die Kreuzpfeiler, deren Stärke ihrerseits durch die zusammenstossenden vier Scheidebogen bestimmt wird. Während hier die Kreuzrippen zwischen den Scheidebogen herauswachsen, ist diese Anordnung für die Schiffspfeiler derart geändert, dass zwischen Kreuzrippe und Scheidebogen ein Stück Kappenflucht eingeschaltet ist, wie solche in Wetter (vgl. Fig. 427 links, *a b*) zwischen Gurt- und Kreuzrippe zu Tage tritt.

An dieser Stelle ist noch eine ganz günstig wirkende Abwandlung an der Kathedrale zu Chartres zu erwähnen; hier wechseln nämlich cylindrische Pfeiler mit achteckigen und sind die runden mit vier nach sieben Seiten des Achteckes gebildeten, die eckigen mit ebensoviel runden Diensten besetzt (s. d. beiden Grundrisse von Fig. 430).

Bündelpfeiler.

Die Bezeichnung Bündelpfeiler wird oft gebraucht für Pfeiler, welche ringsherum mit säulenartigen Dienstvorlagen dicht besetzt sind, oder auch für Pfeiler, deren Umfang ganz in eine Reihenfolge von Stäben und Hohlkehlen aufgelöst ist.

Bei derartigen Pfeilern erscheinen die Säulen oder Stäbe noch als vorspringende Teile des Pfeilers. S. nebenst. Grundriss 2. Mehr Berechtigung bekommt der Ausdruck Bündelpfeiler schon wenn die Stütze sich aus selbständigen Säulen zusammensetzt, die mit einander verwachsen sind.



Als Beispiel mögen die im nebenstehenden Grundrisse 1 dargestellten Pfeiler des Kapitelsaales zu Riga gelten, die sich aus vier Säulen zusammen setzen. Derartige Bündelpfeiler, die sich schon in der romanischen Kunst finden, treten mit sehr wechselnder Anzahl der Säulen auf, man findet sie mit 2, 3, 4, 6, 8 Säulen und mehr. Auch ein Wechsel zwischen dicken und dünnen Säulen ist anzutreffen.

Am treffendsten wird die Wirkung des Bündels zum Ausdruck gebracht, wenn die Säulenschäfte gar nicht mit einander verwachsen sondern ganz frei mit einem Zwischenraume nebeneinander stehen, und nur in der Basis und dem Kapitäl oder bei grosser Höhe noch ein oder mehrere Male inmitten der Schaftlänge durch Bundsteine mit einander in Verbindung gebracht sind. Derartige Pfeiler, die in einer gewissen Beziehung zu den gekuppelten Säulen der romanischen Bogenstellungen in Fenstern und Kreuzgängen stehen, treten besonders viel an spätromanischen und frühgotischen Werken in der Normandie und England auf. In Deutsch-

land sind sie seltener. S. Grundriss 3 auf S. 185. Als Beispiel seien die Pfeiler der Schlosskapelle zu Kobern angeführt, welche eine dicke Mittelsäule und nach vier Richtungen dünne freistehende Säulen zeigen. Die Kapitäle und Basen sind zusammengefasst, ausserdem ist in mittlerer Höhe der dünnen Säulen ein Steinbund zur Verbindung des oberenund unteren Schaftstückes eingeschaltet. S. Grundriss 4 auf S. 185.

Die Zahl der den Mittelpfeiler umstellenden Säulen kann auch hier wieder stark wechseln und sich auf 8, 12 oder selbst mehr steigern, andrerseits auf 2 Nebensäulen zurückgehen. Im Dome von Lausanne steht vor dem Rundpfeiler des Schiffes sogar nur eine einzige freie Säule, welche oben die Wölbglieder des Mittelschiffes zu tragen hat.

Bei Bündelpfeilern, die nur aus einer geringen Zahl von Säulen bestehen, kann die Mittelsäule ganz fehlen.

Die Kreuzpfeiler.

Wie schon erwähnt treffen auf den Kreuzpfeilern an der Vierung, ferner auf den inneren Eckpfeilern der Türme vier Bogen von Stärke der Scheidebogen zusammen, zwischen denen noch die Kreuzrippen ihr Auflager finden müssen. Dieses Verhältnis führte zunächst auf eine Verstärkung der erwähnten Pfeiler,*) die in den verschiedensten Weisen erzielt wurde. Bei der Anlage gegliederter Schiffspfeiler würde der in der gleichen Weise gegliederte Kreuzpfeiler nur in der Zahl der Dienste und der Ecken des Kernes einen Zuwachs erhalten, also etwa aus sechzehn Diensten bestehen, während die Schiffspfeiler nur zwölf hätten. Einen derartigen Kreuzpfeiler zeigt die rechte Hälfte von Fig. 421. Aber selbst bei einheitlichen oder mit Diensten verbundenen Rundpfeilern im Schiffe sind die Kreuzpfeiler häufig nach dem Grundrisse der darauf treffenden Bogen gegliedert, so in Notredame zu Dijon, dann an der südwestlichen Ecke des Mittelquadrates der Kathedrale daselbst, in Chartres usw. Einfachere Gestaltungen dieser Art zeigen die schon erwähnten Kreuzpfeiler der Kirchen zu Haina und Mühlhausen.

In anderen Werken dagegen, wie in der Elisabethkirche zu Marburg, der Kirche zu Kolmar, der Kirche zu Altenberg, findet sich die Beziehung zu den mit vier Diensten verbundenen Rundpfeilern der Schiffe dadurch in höherem Grade gewahrt, dass auch die Kreuzpfeiler aus einem runden statt mit vier mit acht, nämlich vier stärkeren und vier schwächeren Diensten verbundenen Kerne bestehen, dessen Durchmesser nach Massgabe des Grundrisses des Bogenanfanges verstärkt ist. Die Turmpfeiler der Kirche zu Kolmar sind nach demselben Prinzipe jedoch mit achteckigem Kerne gebildet.

Die folgerichtigste Anordnung würde darin bestehen, dass man aus dem Grundrisse der Schiffspfeiler den den Scheidebogen unterstehenden Teil herausschnitte und aus der Verbindung von vier solchen, durch die den Kreuzrippen unterstehenden Dienste geschiedenen Teilen die Kreuzpfeiler bildete. In dieser Weise, freilich mit einer gewissen Freiheit in der Ausbildung, ist der nördliche

*) Weshalb diese Verstärkung in den angeführten Kirchen von Wetter, Mühlhausen und anderen unterblieb, wird später untersucht werden.

Kreuzpfeiler der Kathedrale von Dijon gebildet, s. Fig. 431. Er vereinigt sonach sämtliche Elemente der übrigen Pfeiler in sich, die kreisförmige Gestalt der Schiffspfeiler, die rechtwinkligen Rücksprünge des gegenüberliegenden Kreuzpfeilers und eine seiner Aufgabe entsprechende Dienstzahl.

Zuweilen — so in dem Schiffe der Kirche zu Friedberg — sind auch die immer noch mit rundem Kerne gebildeten Schiffspfeiler mit acht Diensten verbunden, so dass einem jeden Bogen ein Dienst untersteht, während die ihrer ganzen Gestaltung nach nur wenig älteren Kreuzpfeiler nur mit vier Diensten verbunden sind. Trotz dem geringen stilistischen Unterschiede, der sich hauptsächlich in der Bildung des Laubwerkes ausspricht, dürfte aber die Vermehrung der Dienstzahl, wenigstens mit Beibehaltung einer regelmässigen Stellung derselben, als dem eigentlichen Wesen der Konstruktion zuwiderlaufend zu betrachten sein, weil die den Kreuzrippen unterstehenden genau nach der Achtteilung des Kreises gestellten Dienste die Breite der Scheidebogen beschränken, wenn nicht der Pfeilerdurchmesser einen entsprechenden Zuwachs erhält. Es könnte demnach die Vermehrung der Dienste angemessener in der Weise geschehen, dass der in Fig. 426 dargestellten Grundform der Pfeiler von Mantes und Besançon noch zwei Dienste in der Längenachse angefügt würden, oder aber, dass der runde Kern mit zwölf Diensten umstellt würde, von denen je drei unter die Scheidebogen zu stehen kommen, wonach letztere, ohne Vergrösserung der Pfeilerstärke, doch eine angemessene Breite erhalten würden.

Die Rücksicht auf die Stärke der Scheidebogen hört allerdings auf, sobald der die Mauer tragende Bogen erst oberhalb der Kappen geschlagen wird, unterhalb der Kappen aber in derselben Richtung eine einfache, den übrigen gleiche Rippe gespannt ist, so dass also von jedem Pfeiler acht völlig gleiche Rippen ausgehen, zwischen welchen je nach der Stärke des Pfeilers die Kappenflächen in grösserer oder geringerer Breite sichtbar werden. Es wird durch eine solche Anlage möglich, einer jeden Rippe einen besonderen Dienst zu unterstellen und überhaupt eine wirklich ideale Regelmässigkeit zu erreichen, trotzdem aber läuft sie doch auf eine Verleugnung des Wesens der Sache hinaus, bringt die Wirkung einer ermüdenden Einförmigkeit wenigstens bei weiten Räumen hervor und empfiehlt sich allein durch ihre Wohlfeilheit, insofern die oberhalb der Kappen geschlagenen, mit diesen nicht in Berührung stehenden, die wagerechte Ausgleichung und das Dachwerk tragenden Bogen von Bruchsteinen oder gewöhnlichen Ziegeln ausgeführt werden können. Es findet sich diese Anordnung in einer verhältnismässig noch glücklichen Gestaltung in dem Schiffe des Frankfurter Domes (s. Fig. 432), ferner in der Marienkirche zu Zwickau und anderen späteren Werken.

Die völlig gleiche Gestaltung der Rippen oder wenigstens der über den Seiten und der über den Diagonalen der Joche gespannten untereinander ist dagegen durch das Wesen der Sache geboten, wo die Aufgabe der Scheidebogen wegfällt, wie z. B. in gewölbten Sälen, dann in jenen aus zwei gleichen, durch eine mittlere Pfeilerreihe geschiedenen Schiffen bestehenden Kirchen, die sich hauptsächlich am Rhein, wie in Namedy und Bornhofen finden, ferner aber bei der Anlage von fünfschiffigen Kirchen, für die die beiden Seitenschiffe trennenden Pfeilerreihen, kurz in allen den Fällen, wo die in der Richtung der Scheidebogen sich bewegenden Rippen in ausschliesslicher Beziehung zu dem Gewölbe stehen.

Die gegliederten Pfeiler der mittleren und späteren Zeit.

Bevor wir zu den der mittleren Periode angehörigen, freieren Pfeilergrundrissen übergehen, müssen wir die entsprechenden Umwandlungen der Scheidebogen untersuchen. Die ursprüngliche, unmittelbar aus dem Vierecke der Werkstücke gebildete, an den älteren Werken fast typische Gliederung derselben, welche

in den Figuren 423 427 dargestellt ist, erhielt schon um die Mitte des 13. Jahrhunderts allerlei Zusätze und teilweise Umbildungen. So ist in St. Blasien in Mühlhausen das Viereck des nur aus einem Ringe bestehenden Scheidebogens auf den Ecken durch eine Hohlkehle gegliedert. Eine zusammengesetztere Gestaltung dieser Art zeigen sodann die Scheidebogen der Kathedrale in Dijon (Fig. 431), in beiden Fällen aber ist die wagerechte Unterfläche beibehalten. Schon bei frühgotischen Werken besteht der untere Ring des Scheidebogens bisweilen aus einem halbkreisförmigen Querschnitte. Wenn einem gegliederten Scheidebogen, wie in Fig. 433, bei *c d* noch ein Rundstab vorgelegt ist, so nähert die Hauptform des Profiles sich dem übereck stehenden Quadrate. Letzteres spricht sich noch deutlicher aus, wenn dem Rundstabe, wie in der Kathedrale von Reims, ein Grat angesetzt ist. Aber auch die Bildung des Bogens aus zwei Ringen hört bald auf wahrnehmbar zu sein, und die Fuge durchschneidet dann die von dem Rundstab des oberen Ringes nach dem des unteren sich setzende Hohlkehle. Fig. 433 soll diese Umwandlungen darstellen. Es ist darin *a b c d* das ältere, schon reicher gestaltete Profil, welches durch den Ansatz des geschweiften Stabes in die Gestaltung *a b c f d* und durch die Hohlkehle zwischen den Rundstäben in die für die mittlere Periode bezeichnende von *a g c f d* übergeht.

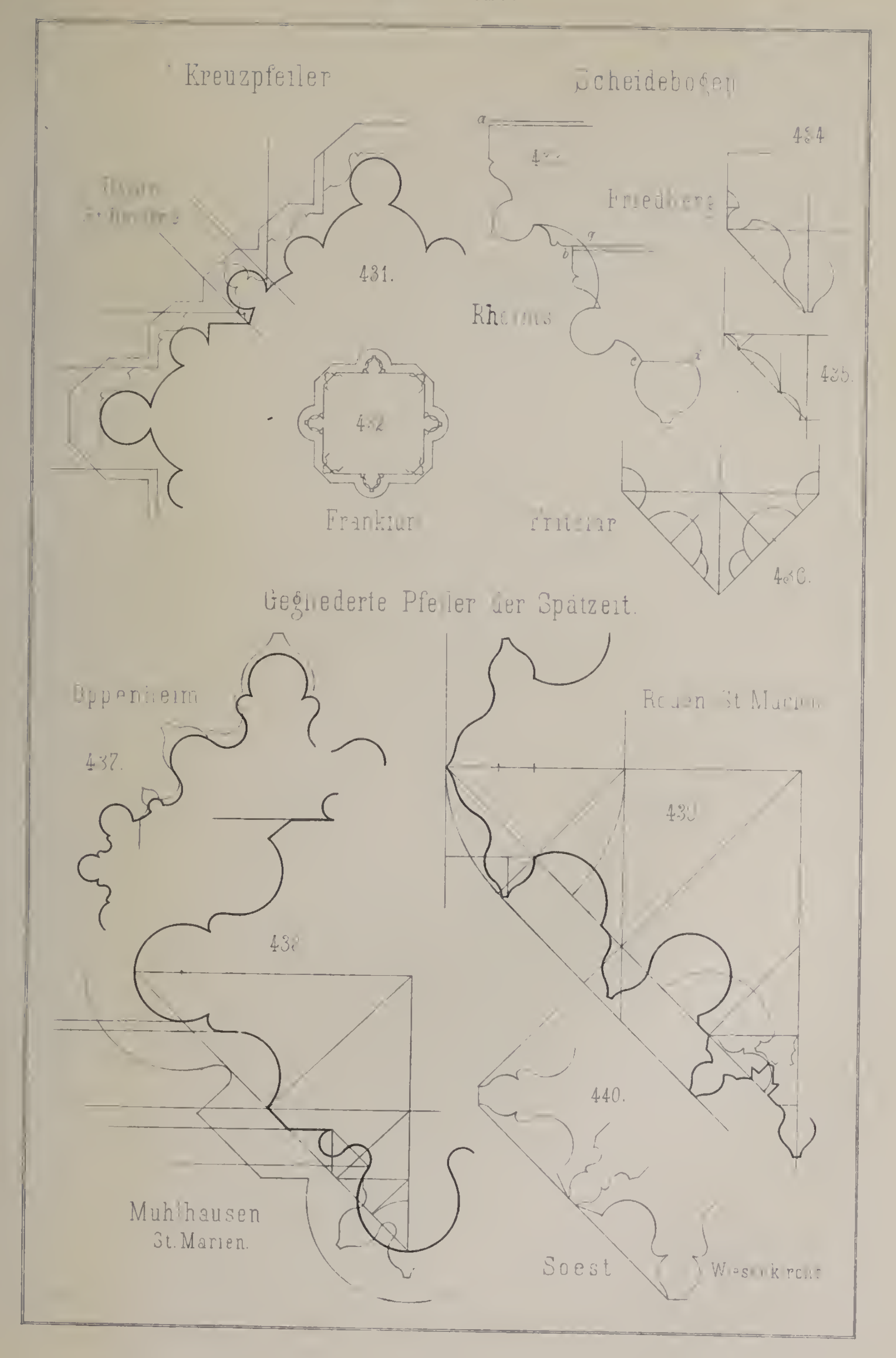
Umwandlung der Scheidebogengliederung.

In dem Ansatze des Rundstabes, oder vielmehr des geschweiften Stabes vor der unteren Platte und der dadurch für das ganze Profil gewonnenen Grundform des übereck stehenden Quadrates hat man nach dem Vorgange Kuglers die für die Blütezeit der gotischen Architektur bezeichnende Gestaltung erkennen wollen und jene frühere, mit wagerechter Unterfläche versehene zu den noch unentwickelten Durchgangsbildungen gerechnet, wohin demnach neben der grossen Mehrzahl der mustergiltigsten französischen Kathedralen in Deutschland die Dome von Strassburg und Freiburg, sowie die Elisabethkirche in Marburg und zahllose andere gehören würden. Uns scheint hierin eine gewisse Einseitigkeit zu liegen. So günstig die Wirkung eines nach dieser späteren Gestaltung gegliederten Scheidebogens auch ist, so hebt dieselbe offenbar den Unterschied zwischen der Eigenart des eine starke Mauer tragenden Scheidebogens und der ausschliesslich das leichte Kappengemäuer tragenden Kreuzrippe auf. Für die Profilierung der letzteren ist an erster Stelle die Höhe von Wichtigkeit, während der Scheidebogen vor allem die zum Aufsetzen der Mauerstücke erforderliche Breite gewinnen muss. Wir möchten daher umgekehrt mehr der älteren Gestaltung den Vorzug geben und ei entsprechender Vereinfachung auch für die Gurtbogen vorziehen, sobald letztere überhaupt stärk als die Kreuzrippen angelegt werden (siehe die rechte Hälfte von Fig. 427). Die Profilierung *a g c f d* der Fig. 433 hebt ferner die Scheidung der beiden Ringe des Bogens auf, ist daher zunächst nur da am Platze, wo die beschränkteren Ausdehnungen die Bildung des Scheidebogens aus einem Ringe ermöglichen.

Die bestechende Wirkung der nach unten mit einer Kante schliessenden Bogengliederung behauptete aber in dem Masse ihr Recht, dass sie für viele reichere Anlagen in der Spätzeit beibehalten wurde und nur in den Einzelheiten der Profile gewisse Umwandlungen erlitt. So war man zunächst bemüht, zu einem grösseren Reichtume zu gelangen durch Vermehrung der Glieder; andererseits fing man an, die Rundstäbe durch mehr geradlinig begrenzte, den einfacheren späteren Gewölberippen entsprechende Glieder oder durch eine einfache Wiederholung von Hohlkehlen zu ersetzen.

Die Scheidebogen der Kirche in Friedberg, von welchen Fig. 434 die älteren, zunächst dem Kreuzschiffe befindlichen, und Fig. 435 die wenig späteren der westlichen Joche darstellt, machen diesen letzteren Übergang anschaulich. Ein

Tafel XLV.



Kreuzpfeiler
Scheidebogen
431.
Rheims
Friedberg
435.
Frankfurt
Fritzlar
436.
Gegliederte Pfeiler der Spätzeit.
Oppenheim
437.
Rouen St Maclou
440.
Mühlhausen
St. Marien.
Soest
Wiesenkirche



weiteres Beispiel der letzteren, nur aus Kehlen bestehenden Gliederungsweise zeigen sodann die Scheidebogen des gegen Ende des XIV. Jahrhunderts der Stiftskirche in Fritzlar angebauten südlichen Seitenschiffes (Fig. 436).

Zugleich mit dieser Umgestaltung der Scheidebogenprofile ändert sich das Verhältnis derselben zu den Diensten des Pfeilers. Während nach dem älteren Systeme ein jeder Dienst einen besonderen Bogen, aber diesen ganz trägt, sehen wir schon an den Schiffspfeilern der Kathedrale zu Dijon den Dienst nur den nach unten am weitesten vortretenden Teilen der Scheidebogen unterstehen. Bald aber ging man noch weiter und brachte die Dienste in alleinige Beziehung zu den einzelnen Rundstäben jener Gliederung, wonach auch die Durchmesser der ersteren die der letzteren nicht mehr übertreffen durften, und führte dann auch die Kehlen an dem Pfeiler hinab, so dass der Kern des letzteren völlig verschwindet. Hierbei findet jedoch anfangs ein Unterschied zwischen Pfeiler und Bogengliederung noch in der Weise statt, dass die Rundstäbe der letzteren stärker sind als die Dienste und sich durch die angesetzten Schweifungen von denselben unterscheiden, dass die Bogengliederung häufig eine zusammengesetztere ist, und die Kapitäle noch eine wirkliche Aufgabe erfüllen. Ein derartiges, der Katharinenkirche in Oppenheim entlehntes Beispiel zeigt Fig. 437. Häufig aber fallen diese Unterschiede gänzlich weg, wie die in Fig. 438 dargestellten Pfeiler der um die Mitte des XIV. Jahrhunderts erbauten Marienkirche in Mühlhausen zeigen; die Gliederung der Scheidebogen ist dieselbe wie die der Pfeiler, und die Kapitäle sind ausschliesslich noch an den, den Gurt- und Kreuzrippen unterstehenden Diensten notwendig, finden sich jedoch häufig, so in dem angeführten Beispiel, um den ganzen Pfeiler herumgeführt, bis man dahin gelangte, sie völlig wegzulassen und die Pfeiler nur durch die lotrechte Fortführung der Bogengliederung zu bilden. Die Figuren 440 und 439 zeigen zwei derartige Pfeilergrundrisse, erstere von der Wiesenkirche in Soest aus der zweiten Hälfte des XIV., letztere von St. Maclou in Rouen aus den letzten Zeiten des XV. Jahrhunderts. An der ersteren sind Scheidebogen und Gurtbogen gleich, und die Kreuzrippen schneiden sich aus den Winkeln zwischen beiden heraus. In St. Maclou dagegen verwachsen die Gurtrippen teilweise mit den Kreuzrippen und den äussersten Gliedern des Scheidebogens und sind in dieser Gestalt vom Pfeilersockel an angelegt.

Verhältnis der Scheidebogen zu den Diensten.

Die Grundform aller dieser Gliederungen, sowohl der Scheidebogen, wie der Pfeiler, ist das übereck stehende Quadrat, welches die ganze Gliederung entweder völlig einschliesst, oder doch in der Weise begrenzt, dass nur einzelne Teile derselben darüber hinausgehen. In ihr begegnen sich zudem die beiden früheren Systeme, denn der cylindrische Pfeiler geht nach Massgabe der Grösse und des Vorsprunges seiner Dienste in dieselbe über, zuweilen so weit, dass er derselben völlig einbeschrieben ist, und in der Gestaltung des mit rechtwinkligen Abtreppungen gegliederten Pfeilers ist dieselbe unmittelbar enthalten, sobald die einzelnen Seiten dieser Abtreppungen einander gleich werden.

Pfeiler von der Grundform des übereckstehenden Quadrates.

Sehr lehrreich ist gerade in dieser Hinsicht die Pfeilerbildung im Freiburger Münster, an welcher die Abtreppungen schon völlig weggefallen sind, wie die obere Hälfte von Fig. 423 zeigt, während dagegen die Gliederung der Scheidebogen sich noch mit völliger Bestimmtheit aus dem konstruktiven Motive der verschiedenen konzentrischen Bogen entwickelt zeigt. Die Leibungsfugen

der einzelnen Bogen führten daher auf Beibehaltung der Abtreppung, während die Stossfugen des Pfeilers in der Richtung der Seiten des übereck stehenden Quadrates liegen konnten.

Die Umwandlung besteht hauptsächlich darin, dass erstlich im Pfeilergrundriss das übereck gestellte Quadrat hervortritt, und ferner, dass die Kehlen immer weiter oder zahlreicher werden und in demselben Verhältnisse die Stäbe und Dienste abmagern.

Die Entwickelung der einzelnen Gliederungen aus dem übereck stehenden Quadrate ist in den Figuren 434—440 durch Hilfslinien angedeutet. Obwohl wir für das genaue Zutreffen dieser in den Zeichnungen angewandten Konstruktionen in der Wirklichkeit nicht einstehen können, so werden sie doch zur ungefähren Bestimmung des Verhältnisses der Einzelteile der Gliederungen zu einander dienen können.

Der ungegliederte Pfeiler der Spätzeit.

Neben den erwähnten reicheren Gestaltungen, zu denen der einfache Pfeiler durch Verbindung mit Diensten und durch Verschmelzung mit dem gegliederten Pfeiler übergegangen war, ziehen sich durch alle Perioden der gotischen Kunst auch zahlreiche Beispiele der Beibehaltung ganz einfacher runder oder eckiger Pfeilergrundrisse. Sie werden sogar in der späteren Zeit wieder häufiger, so dass hierdurch beinahe ein Übergang zu den antikisierenden Säulen der Renaissance angebahnt scheinen könnte, wenn nicht die spätesten gotischen Pfeilerbildungen diesen Säulen im Prinzipe schroffer gegenüberständen, als die einheitlichen Rundpfeiler der frühgotischen Periode. Der Gang der Umbildung des frühen Rundpfeilers in die spätgotischen Gestaltungen ist derselbe, den wir soeben bei den gegliederten Pfeilern nachgewiesen haben, und spricht sich aus in der zunehmenden Übereinstimmung der Pfeilergrundform mit der des Scheidebogens. Es wird aber diese Übereinstimmung in umgekehrter Richtung wie bei den gegliederten Pfeilern erzielt, denn während bei letzteren die lotrechte Fortführung der Bogenprofile den Pfeilergrundriss bildet, wird hier der Scheidebogen nach dem Pfeilergrundrisse gestaltet und so in beiden Fällen das Kapitäl überflüssig.

Zunächst also behält der Scheidebogen noch eine, vom Pfeiler abweichende, mehr oder minder reiche Gliederung, nur wird seine Ausladung geringer, und demgemäss werden auch die Grundrisse der Gewölberippen mehr zusammengezogen, so dass die ganze Masse der Bogenglieder auf der mässig ausladenden Kapitälplatte Platz findet (s. Fig. 441). Dabei können die Pfeiler einen runden oder polygonalen Grundriss haben. Häufig aber schneiden die Hohlkehlen der Bogenprofile noch in die Pfeilergrundform ein. Um nun diesen Massenverlust zu vermeiden, ist zuweilen der Pfeilergrundriss über das Kapitäl hinaus fortgesetzt und teilweise mit den Gliederungen verwachsen. Um sodann das Vortreten einzelner Glieder über den durchwachsenden Pfeilerkern zu vermeiden, findet sich entweder der Kern oben über den Pfeiler hinaus vergrössert, so dass er dem Bogenanfange umschrieben ist, wie *a b c d* in Fig. 441 zeigt, oder aber die Masse des Anfanges in der Weise zusammengezogen, dass sie dem Pfeilergrundrisse einbeschrieben werden kann, wie die rechte Hälfte von Fig. 441 zeigt.

In ersterem Falle erfüllt das Kapitäl noch eine wesentliche Aufgabe, in letzterem bezeichnet es nur noch den Beginn der Bogen und wird deshalb schliess-

lich weggelassen. Zwischen beiden Anordnungen liegen diejenigen, wonach entweder der Kern eine von dem Pfeiler verschiedene Grundform bei gleicher Masse annimmt, mithin das Kapitäl den Übergang etwa aus dem runden Pfeiler in den achteckigen Kern bewirken muss, oder aber wo die Scheidebogengrundrisse und Gewölberippen mit ihrem untersten Gliede über den Pfeiler ausladen, so dass der kapitällose Pfeiler mit vier Kragsteinen versehen ist, auf denen die erwähnten vorspringenden Glieder aufsitzen, während der Rest der Scheidebogenglieder aus dem Pfeiler herauswächst (s. Fig. 442 und 442a).

Zuweilen auch finden sich diese Auskragungen nur für die Gewölberippen angeordnet, während die Scheidebogengliederung in den Grundriss des Pfeilers einbeschrieben ist, also völlig aus demselben herauswächst, wie in der rechten Hälfte von Fig. 442 angedeutet ist. Ebensowohl können statt der Auskragungen Dienste angeordnet werden, und zwar entweder vier, oder auch nur zwei den Rippenanfängen unterstehende. Dabei können Pfeiler und Dienste kapitällos oder mit Kapitälen versehen sein oder auch nur die Dienste solche besitzen.

Polygonale Pfeiler.

Anstatt des runden Pfeilergrundrisses von Fig. 442 könnte auch ein jeder polygonale eingeführt werden. Der eckige Pfeiler findet sich in den sparsamer ausgeführten Kirchen der Bettelorden schon vom Anfange des XIV. Jahrhunderts an, wie in der Predigerkirche zu Erfurt in der Weise, dass die achteckige Grundform des Pfeilers sich in dem Scheidebogen fortsetzt, dessen Beginn noch durch ein nur wenig ausladendes Kapitäl bezeichnet ist. Dabei sind für die Rippenanfänge besondere Auskragungen angeordnet, welche entweder über dem Kapitälrande vorspringen, wie in Fig. 444 im Grundrisse und 444a im Aufrisse angegeben, oder aber sich unmittelbar aus der Masse des Kapitäles heraussetzen. Es kann die Gliederung der Deckplatte die Auskragung umziehen oder aber letztere eine feinere Gliederung erhalten, oder endlich die Auskragung irgend eine freiere Gestalt annehmen. Ein Beispiel letzterer Art zeigt die gegen Ende des XIV. oder Anfang des XV. Jahrhunderts erbaute kleine Kirche des Dorfes Gottesbüren in Hessen, Fig. 445.

Infolge der wenige Fuss betragenden Überhöhung des Mittelschiffgewölbes gegen die der Seitenschiffe, tragen hier die verschiedenartig gebildeten Auskragungen kurze Dienste, auf deren Kapitälen die Gurt- und Kreuzrippen aufsitzen, während für den Schildbogen besondere, sich aus dem Kapitälrande herauskröpfende Auskragungen angeordnet sind. Bei gleicher Grundlinie der Gewölbe der drei Schiffe würden die Rippenanfänge unmittelbar auf den aus dem Kapitäle vortretenden Auskragungen und die Schildbogen etwa auf der Ausladung der Kapitälplatte aufsitzen.

Eine Übertreibung der angeführten sinnreichen Anlage zeigt ein Kapitäl aus dem Fürstensaale des Rathauses zu Breslau, wo diese Auskragungen in kleinlichem Massstabe sich aus allen acht Seiten des Kapitälrandes heraussetzen und nur scheinbar dazu da sind, die äussersten Glieder der verschiedenen Gewölberippen zu tragen, die indes recht wohl auf dem Kapitälrande selbst Platz hätten.

Die Anwendung dieser Auskragungen über oder in Verbindung mit den Kapitälen ist indes keineswegs eine Eigentümlichkeit der mittleren und späteren Perioden, sondern findet sich dem Prinzipe nach schon in den Werken des Übergangsstiles, wie in dem Schiffe der Sebalduskirche in Nürnberg und in vielen frühgotischen Werken in Frankreich und England, jedoch trugen gemäss der An-

ordnung der überhöhten Mittelschiffe diese Auskragungen die Dienste, welche erst weiter oben die Rippen des Mittelschiffgewölbes aufnehmen. (Ein überaus schönes Beispiel einer aus dem Kapitäle sich heraussetzenden Auskragung aus der Kirche von Sémur in der Bourgogne findet sich in dem Dictionnaire raisonné von Viollet-le-Duc, T. II. pag. 514.) Die Eigentümlichkeit der späteren Bildungen liegt also nur in der grösseren Knappheit oder Sparsamkeit der Behandlungsweise und macht sie gerade hierdurch besonders lehrreich. An den sehr schlanken Rundpfeilern der Hallenkirche St. Croix zu Lüttich sind sämtliche Bogen auf ausgekragte Konsolen gesetzt. Dabei ist zum Ausgleiche der Scheitelhöhen die Konsole für die Bogen des weitgespannten Mittelschiffes „tiefer" angesetzt als die übrigen.

Auch jene ältere in der Kathedrale von Paris vorkommende Anordnung, wonach die den Mittelschiffgewölben zugehörigen Dienste auf dem Rande des unter dem Scheidebogen befindlichen Pfeilerkapitäles sitzen, findet sich in vereinfachter Weise in der mittleren und späteren Periode. Ein Beispiel dieser Art aus der zu Anfang des XV. Jahrhunderts erbauten Kirche zu Immenhausen zeigt die rechte Hälfte von Fig. 443 im Grundrisse. Das Pfeilerachteck setzt sich in den Scheidebogen fort und die teilweise miteinander und mit der Masse der Scheidebogen verwachsenden Rippenanfänge sitzen auf dem Kapitälrande. Die weitere, die letzte Periode kennzeichnende Reduktion besteht dann darin, dass das für den Scheidebogen unnütze Kapitäl wegfällt und die Rippenanfänge entweder auf Kragsteinen sitzen oder aus den den Schiffen zugewandten Achteckseiten herauswachsen. Umgekehrt aber würde sich leicht eine Aufgabe für die Kapitäle ergeben, deren Fehlen doch die Wirkung einer gewissen Trockenheit hervorbringt, wenn das Scheidebogenprofil vom Pfeilergrundrisse abweicht, wie solches in der linken Hälfte von Fig. 443, ferner in dem linken unteren Viertel von Fig. 444 angegeben ist.

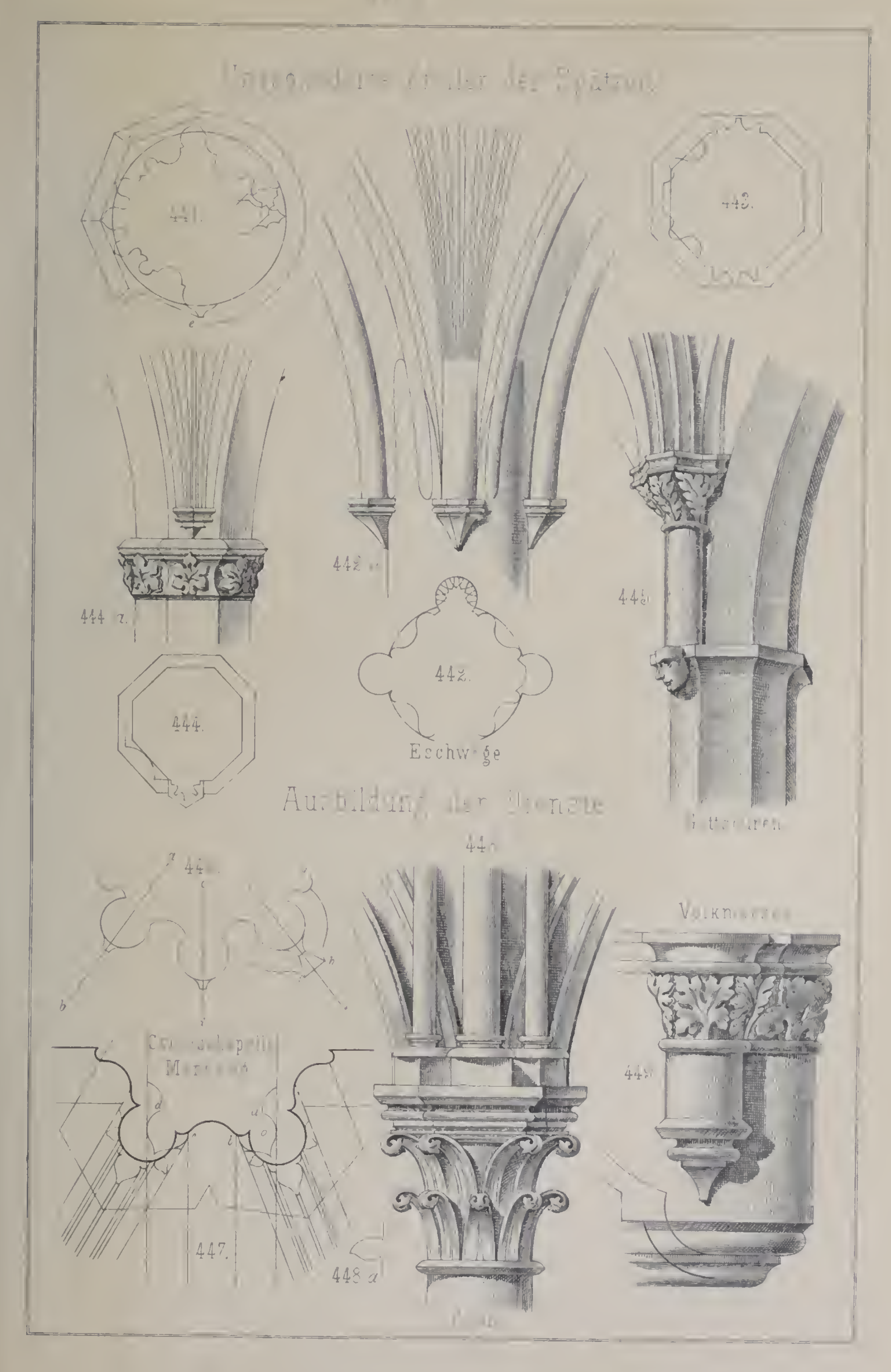
Die polygonalen Pfeiler haben zuweilen in der letzten Periode konkave Seitenflächen zur Erzielung klarerer Schattenwirkung erhalten, so jedoch, dass die durch das Zusammenschneiden dieser Segmente gebildeten Pfeilerkanten immer noch rechtwinklig bleiben. In dem Dome zu Erfurt sind die Ecken durch Rundstäbe, die Seiten durch Hohlkehlen gebildet, welche von ersteren durch Plättchen geschieden werden. Sie sind von den oben angeführten gegliederten Pfeilern insofern verschieden, als eine jede Beziehung zwischen den Gliedern des Pfeilers und der Bogen wegfällt. Sie sind vielmehr näher verwandt jenen bei den Gewölbeanfängen erwähnten Durchdringungen (Fig. 291) und unterscheiden sich davon nur durch das die Pfeilerglieder sammelnde Kapitäl.

Gestaltung der Dienste.

Grundform der Dienste.

Dienste mit eckigem Grundrisse sind selten, als Beispiele mit achteckigen Diensten seien die Kathedrale von Chartres und das südliche Seitenschiff der Stiftskirche in Fritzlar angeführt, in der Kirche zu Wolfhagen bei Kassel, welche der frühgotischen Schule Westfalens angehört, finden sich an den schweren runden Pfeilern je vier Dienste von viereckiger Grundform. Sonst herrschen runde Dienste vor, deren Grundriss ein mehr oder weniger grosses Kreisstück darstellt. Vom XIV. Jahrhundert an findet sich aber der runde Grundriss zuweilen durch

Tafel XLVI





einen vorn angesetzten Sporn in den des zugeschärften oder birnenförmig geschweiften Stabes hinübergeleitet.

Die Entstehung dieser, hier nicht gerade glücklichen Form dürfte darin zu suchen sein, dass man die Richtung des oberen Bogens schon im Dienste selbst anzuzeigen suchte. Wenn also in Figur 446 die Linien *a b* usw. die Richtungen der Rippen angeben, so bestimmen sie zugleich die des Spornes. Zu den Sockeln und Kapitälen tritt der letztere in verschiedene Beziehungen.

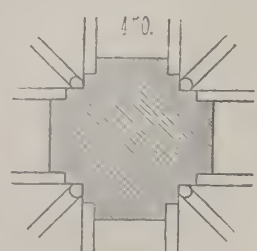
Einfachsten Falles bleibt der Sockel rund und der Sporn setzt sich auf das oberste Glied desselben, welches er auch je nach der Bildung des Sockelprofiles durchdringt und dann auf das darunter befindliche weiter ausladende aufläuft, oder aber die Sockelgliederung umzieht den Sporn, wie bei *g h i* in Fig. 446 angedeutet ist. In derselben Weise läuft der Sporn sich entweder unter dem untersten Gliede, dem Astragale des Kapitäles tot, oder durchdringt dasselbe und setzt sich bis an die weiterausladende Masse des Kapitäles oder an das Laubwerk, oder er wird von dem Astragale umzogen, oder endlich von der ganzen Masse des Kapitäles.

Dienstgruppen.

Wie schon angegeben, trägt einfachsten Falles ein Dienst sämtliche Gewölberippen, sowie umgekehrt die reichste Anlage sich bildet, wenn für jede Rippe ein besonderer Dienst angeordnet ist. Eine derartige Gruppe von Diensten bildet dann einen Teil eines gegliederten Pfeilers, dessen Ganzes durch die Verbindung der erforderlichen Anzahl von Diensten entsteht. Zuweilen aber finden sich an den Werken des Mittelalters ganz eigentümliche Gestaltungen solcher Dienstgruppen. Ein glückliches Beispiel dieser Art zeigt die Schlosskapelle in Marburg, welches wir in Fig. 447 im Grundrisse darstellen. Hier sind nur für die Kreuzrippen wirkliche Dienste angeordnet, welche durch eine Hohlkehle miteinander verbunden sind. Letztere setzt sich sodann oberhalb der Dienstkapitäle in den Gurtbogen fort. während die äussersten Glieder der letzteren, die Stäbe *a b* und *c d*, aus den Seitenflächen der Kreuzrippen herauswachsen.

Dienste auf dem Pfeilerkapitäle.

Die Dienste sind wie bereits erwähnt, wenn sie mit einem Pfeiler in Verbindung stehen, entweder von Grund auf angelegt oder sie sitzen bei ungleichen Schiffshöhen auf dem Vorsprung des den Scheidebogen unterstehenden Pfeilerkapitäles, oder sie sind oberhalb des letzteren ausgekragt. Das Aufsetzen derselben auf dem Pfeilerkapitäle findet sich in einzelnen französischen Werken der Frühzeit, wie in Notredame in Chalons, in St. Remy in Reims in der Weise abgewandelt, dass auf dem Kapitäle eines von Grund auf angelegten stärkeren Dienstes drei schwächere stehen, wobei dann das Kapitäl entweder in der Höhe des Pfeilerkapitäles oder darüber sich befinden kann, letztere Anlage findet sich in Chalons. Das Aufsetzen auf das Pfeilerkapitäl findet sich in besonders glücklicher Weise in Notredame in Dijon, wo die Dienste ohne Verband mit der oberen Mauer stehen, so dass die Gliederung des Scheidebogens hinter ihrem Dienste durchläuft. In Fig. 286 ist der Grundriss und in Fig. 448 der Aufriss dargestellt.



Dienste am Pfeiler ausgekragt.

Oft ist nur ein Teil der Dienste am Pfeiler herabgeführt, während andere weiter oben aus dem Pfeiler auskragen. Schon bei romanischen und frühgotischen Werken kommt es vor, dass die Rippendienste erst höher beginnen, dazu mag unter Umständen die nachträgliche Entscheidung für vorspringende Gratbogen geführt haben. Der anfangs als Hallenkirche im Beginne des XIII. Jahrhunderts er-

baute Dom zu Riga zeigt diese Lösung an den abgetreppten und ganz romanisch angelegten Schiffs- und Wandpfeilern (Fig. 450). In ähnlicher Weise haben auch die Rundpfeiler an manchen westfälischen Kirchen, so dem Dome zu Minden, der Kirche zu Volkmarsen usf. vier ausgekragte Rippendienste, während die vier Dienste für Gurt- und Scheidebogen von Grund auf angelegt sind.

Bei Rundpfeilern mit vier Vorlagen ist der dem Mittelschiffe zugekehrte Dienst zuweilen höher angelegt, so in der Kirche zu Haina, wo er etwa 3½ m über dem Boden beginnt. In der gleichfalls dem XIII. Jahrhundert entstammenden Kirche St. Christoph zu Mainz nehmen die Dienste für das höhere Mittelschiff sogar erst über dem Kapitäle ihren Anfang. In der Marktkirche zu Hannover sind dagegen die den Scheidebogen unterstehenden Dienste aus der Masse des cylindrischen Pfeilers ausgekragt und die den Schiffen zugewandten von Grund auf angelegt.

Die Absicht, unten den freien Raum zu erweitern, mag zunächst auf diese keck wirkenden Auskragungen geführt haben, die statisch oft sehr berechtigt sind. So ist es beim Überwiegen des Mittelschiffschubes durchaus folgerichtig, die unten wenig oder gar nicht mehr gepressten Mittelschiffdienste teilweise zu sparen, dagegen die am stärksten gedrückten Dienste am Seitenschiffe recht zuverlässig bis unten hinabzuleiten und auf ein hier besonders gut erbreitertes Fundament zu setzen.

Wand-dienste.

Zu den Wandflächen verhalten sich die Dienste ebenso wie zu den Pfeilern, nur kommen noch einige besondere Anordnungen hinzu. Zuweilen nämlich sitzen die Dienste erst auf dem unter der Fenstersohle umlaufenden Gesimse, jedoch bei drei oder fünf Diensten nur die äusseren, während die mittleren, weiter vortretenden, auf den Boden hinablaufen.

Eine andere schon dem Übergangsstile eigene Anordnung findet sich gleichfalls in den oben erwähnten westfälischen Kirchen, in welchen aus den Wandflächen zunächst ein Pfeilersegment und aus diesem die Dienste ausgekragt sind. In Volkmarsen ist die Ausführung nach Fig. 449 sehr einfach, wie solches schon die Überspannung der Seitenschiffe mit rippenlosen Gewölben mit sich brachte. Im Dome zu Minden dagegen ist sie mit dem grössten Reichtume durchgeführt. S. got. Musterbuch 2. Aufl. Taf. 114.

Über einer auf einem Kragstein stehenden Figur bildet ein halbrunder Baldachin die Basis der Auskragung, welche durch eine kräftige mit Blättern besetzte Hohlkehle eine grössere Fläche gewinnt. Darauf sitzt ein kurzes, der Mauer eingebundenes Pfeilerstück, welches mit fünf Diensten besetzt ist, nämlich einem stärkeren für die Gurtrippe und vier schwächeren, für die Schildbogen und die Kreuzrippen. Die schwächeren Dienste stehen auf dem vortretenden Gesimsrande der unteren Auskragung, für den stärkeren aber ist ein sich aus diesem Gesimsrande herauskröpfender Kragstein angeordnet. Sämtliche Dienste sind mit Kapitälen versehen, deren obere Gliederung den Pfeilerkern umzieht.

Es gewähren derartige Gestaltungen den Nutzen, dass sie die untere Wandflucht glatt lassen und somit in Kirchen Gestühle, in weltlichen Bauten Bänke oder sonstiges Zimmergerät hart an die Wand gerückt werden können, ohne durch die heruntergehenden Dienste beschränkt zu werden, und bringen dabei doch eine reiche und mächtige Wirkung hervor; sie verstärken überdies die Widerlager indem sie die Spannung der Rippen verringern.

Stärkenverhältnis zwischen Pfeiler und Bogenanfang.

Was das Verhältnis der getragenen Teile zu den tragenden, des Rippengrundrisses zu dem des Dienstes, des gesamten Bogenanfanges zu dem des Pfeilers betrifft, so kann als allgemeine Regel gelten, dass die Fläche des getragenen Teiles der des tragenden mindestens gleich, meist aber grösser als diese ist. Die Begründung dieser fast gesetzmässig wiederkehrenden Erscheinung ist darin zu suchen dass der Grundriss des Gewölbeanfanges aus architektonischen und praktischen Gründen nur in gewissen Grenzen eine Verkleinerung zulässt, dass dagegen der Pfeilergrundriss, wenn kein Schub in Frage kommt, gewöhnlich sehr stark eingezogen werden kann. Will man nun die Druckfestigkeit des Materiales in Frage ziehen, so können die Pfeiler in der Regel äusserst dünn angenommen werden.

Einen prismatischen Pfeiler aus Sand- oder Kalkstein (spezifisches Gewicht = 2,5) kann man 80 m hoch aufmauern, bevor unten eine Pressung von 20 kg auf 1 qcm entsteht. Will man 40 kg auf 1 qcm zulassen, so würde der Pfeiler sogar 160 m hoch werden dürfen.

Handelt es sich um einen Pfeiler, der eine Wölbfläche von 50 qm (etwa 7 . 7 m) mit einem Gewichte von 25 000 kg zu tragen hat, so würde bei 20 kg zulässiger Pressung auf 1 qcm der Pfeiler 25 000 : 20 = 1250 qcm oder etwa 35 cm mal 35 cm Grundfläche nötig haben. Wo ein exzentrischer Druck nicht zu fürchten ist, könnte man die Pfeiler thatsächlich so dünn machen. Die Gefahr des Ausbauchens oder Knickens kommt erst bei grosser Schlankheit der Pfeiler in Frage. Den Anfang 7 m weit gespannter Gewölbe auch auf dieses geringe Mass zu bringen, würde aber meist unthunlich sein.

Gewöhnlich wird man die angemessene Grundrissgrösse für Bogenanfang und Pfeiler getrennt festsetzen und dann zwischen beiden vermitteln, dabei wird man gar oft dazu geführt werden, die Bogen so weit auszuladen, als es die Überkragung des Kapitäles irgendwie zulässt. Man erreicht dadurch geringere Spannweite der Bogen, ein weniger gequältes Ineinanderzwängen der Glieder und meist auch eine leichtere Ausführbarkeit.

Sollen Bogenanfang und Pfeilergrundriss genau gleichen Flächeninhalt haben, so wird sich auch dann noch gewöhnlich ein grösserer Durchmesser des Bogenanfanges ergeben, da dieser durch einspringende Winkel der Gliederungen geschwächt, der Pfeiler aber von einem geschlossenen Umrisse zu sein pflegt. Es leuchtet ein, dass die Ausladung in dem Masse zunimmt, als der Pfeilergrundriss eine Vereinfachung gegenüber dem Gewölbeanfange bildet, dass dagegen die Ausladung um so geringer wird, je ähnlicher Pfeiler und Anfang sich werden, bis schliesslich bei völliger Übereinstimmung beider jede Ausladung aufhört. Die Spätzeit des Mittelalters hat sich ganz besonders darin ergangen, direkte Übergänge zwischen Pfeiler und Gewölbeanfang ohne vermittelndes Kapitäl zu suchen (vgl. vorn Fig. 288 und 291).

Eine gewisse Berechtigung kann man diesen Bestrebungen insofern nicht absprechen, als nach Vereinigung der Wölbkräfte im Bogenanfange das Material die gleiche Pressung erleidet wie im darunter liegenden Pfeilerstücke. Kann man Pfeiler und Anfang aus dem gleichen Steine in gleich sorgfältigem Fugenschnitt aufführen, so ist es auch statthaft, beiden gleich grosse Grundrissfläche zu geben. Dass andere Gründe wieder gegen diese Gleichheit sprechen, ist soeben angegeben.

Bei geringen Abmessungen, wie solche in nicht kirchlichen Bauten, in

Sälen usw. vorkommen können, hat die Massenverringerung des Pfeilers ihre durch die Bedingungen der Ausführbarkeit und des Widerstandes gegen zufällige Beschädigungen gesteckten Grenzen; da nun in solchen Fällen den ohnedies geringen Spannungen gegenüber eine Massenzunahme des Bogenanfanges keinen so grossen Vorteil gewähren, dagegen eine schwerfällige Wirkung hervorbringen kann, so darf auch ihre Ausladung über die Flucht des Pfeilers wegfallen. Ein Beispiel dieser Art bietet einer der Säle der Klostergebäude von Haina, die sogenannte Wermutskammer, deren nach dem Prinzipe von Fig. 287 gebildete Bogenanfänge kaum merklich über die Flucht der sie tragenden cylindrischen Pfeiler ausladen Viel hängt hierbei ferner von der Beschaffenheit des Materiales ab. So sind auf den überaus schlanken, dem XIV. Jahrhundert angehörigen Granitpfeilern der sogenannten Briefkapelle an der Lübecker Marienkirche, ebenso an den in dem Remter des Marienburger Schlosses befindlichen, die Rippenanfänge im Vertrauen auf die vortreffliche Beschaffenheit der Ziegel, aus denen sie bestehen, nur unbedeutend über die Pfeilerflucht ausgeladen, während an den gleich schlanken Pfeilern des Refektoriums von St. Martin des champs in Paris der Durchmesser des Rippenanfanges dem Augenscheine nach wohl das dreifache Mass des oberen Säulendurchmessers hält.

Die kühnen Pfeiler zu Lübeck und Marienburg erscheinen verhältnismässig noch kräftig gegenüber den noch weit kühneren Gewölbeanfängen, die wegen der Einsprünge sogar noch eine geringere Grundfläche als die Pfeiler haben, trotzdem die Anfänge aus Ziegelstein und die Pfeiler aus dem weit festeren Granite bestehen. Man könnte daraus schliessen, dass die Pfeiler noch weit dünner hätten sein dürfen; dem ist aber nicht so, da bei noch grösserer Schlankheit dieser Pfeiler nicht allein die Druckfestigkeit, sondern die Gefahr des Ausbauchens oder Zerknickens in Frage käme. Ausserdem wächst bei zu dünnen Pfeilern die Möglichkeit des Zersplitterns infolge verborgener Fehler des Materiales, ganz abgesehen davon, dass die Pfeiler mehr als die Gewölbeanfänge zufälligen Stössen oder Beschädigungen zugänglich sind.

Immerhin dürfte aber gerade bei Anfängen aus Ziegelstein mit Rücksicht auf Ausführung und künstlerische Wirkung eine grössere Ausladung geboten sein, wenngleich sich in den vorliegenden Fällen der übermässig kühnen und hochstrebenden Wirkung der Wölbung ein fast berückender Reiz nicht absprechen lässt.

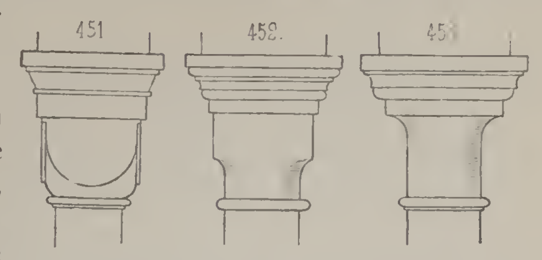
2. Die Kapitäle.

Kapitälbildung bei rundem Schafte und vierkantiger Platte.

Allgemeine Form des Kapitäles.

Das Kapitäl hat gewöhnlich zwei Aufgaben zu erfüllen, es hat erstens durch seine Ausladung eine grössere Fläche für die Aufnahme der getragenen Glieder zu schaffen und zweitens den Querschnitt der Stütze in eine andere Grundrissform überzuleiten. Besonders oft handelt es sich um die Überführung eines runden Säulenschaftes in eine quadratische Platte; sowohl für Balken als auch für einfache Bogengliederungen liefert der vierkantige Plattengrundriss eine zweckentsprechende Auflagerfläche, überdies wird er als die natürlichste Form eines Werksteines zunächst an die Hand gegeben. In der romanischen Kunst wurde die Erfüllung der beiden Forderungen in einem Teile vereinigt, indem der eigentliche Kapitälkörper Ausladung wie Übergang bewirkte, wobei jedoch die Ausladung noch durch eine kräftige profilierte Platte, oft selbst durch einen grösseren aus einem besonderen

Werkstücke gebildeten Aufsatz vergrössert wurde. Die Figuren 451 bis 453 stellen drei Grundtypen von romanischen Kapitälen dar unter Fortlassung jeglichen Blattschmuckes oder anderweitigen ornamentalen Beiwerkes.



Die Gotik pflegt beide Aufgaben zu trennen, sie bewirkt in einer dem korinthischen Kapitäle verwandten Weise die Ausladung durch den Kapitälkelch, den Übergang aber durch die dem kreisförmigen Kelchrande aufgelegte Platte, vgl. Fig. 454 im Gegensatze zu 453. Die Platte kann mehr oder weniger über den Kelchrand überstehen oder demselben einbeschrieben sein (siehe die Grundrisse 454a bis c).

Die überstehenden Ecken der Platte (Fig. 454a und b) werden durch ein Eckblatt, einen Blattbüschel oder einen auf andere Weise gebildeten Stützkörper oder „Träger" unterstützt. Selbst wenn die Ecken der Platte nicht vortreten wie im Grundrisse 454c und dem auf Tafel XXXXVII in Figur 455 bis 455b dargestellten Kapitäle aus Volkmarsen, so wird sich doch eine Verstärkung der Ecken durch Stützblätter empfehlen: denn die Ecke der Blätter hat wie der Diagonalschnitt 455b zeigt, weniger Fleisch des Kelches unter sich, als die Seitenfläche der Platte, es liegt daher nahe, den Kelchrand unter den Ecken durch einen Träger zu verdicken, so dass der Durchschnitt aus der Linie *a b c* in die Linie *a d c* übergeht.

Stützblätter an den Ecken.

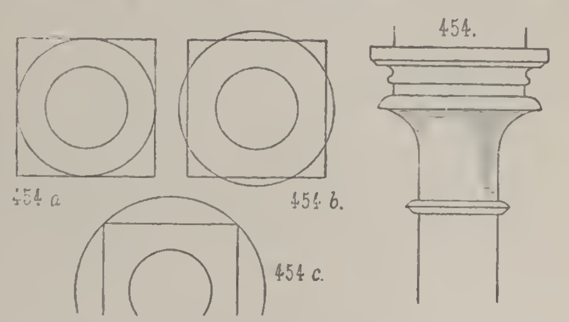


Fig. 456 zeigt den Aufriss einer solchen einfachen Kapitälbildung, die Eckstütze hat oben einen vollen viereckigen Querschnitt, der sich unten nach dem Stamme zu verflacht und schliesslich in letzteren übergeht. Es nähert sich demnach die Form dieses Trägers der eines fleischigen vorn abgeschnittenen Blattes oder Blattstengels, Fig. 457 stellt seine Ansicht im grösseren Massstabe dar. Lebensvoller als diese abgeschnittenen, „toten" Glieder sind die voll bis zur Spitze ausgebildeten Blätter, die in einfachster Form nach Fig. 458 gebildet sind.

Da im Grundrisse 456a der Punkt *e* die äussere Ecke des Werkstückes bezeichnet, so können die Eckblätter über den Rand des Kelches so weit vorgehen, als das Werkstück gestattet, so dass ihre Endigung, wie die rechte Hälfte des Grund- und Aufrisses ergiebt, bei abgeschnittenen Blättern nach *h i*, bei spitzen Blättern bis fast nach *e* gerückt wird. Um ferner diese blattartigen Träger schärfer von der Fläche des dazwischen stehenbleibenden Kapitälkernes abzuheben, werden sie nach unten gegliedert und zwar einfachsten Falles durch zwei eingeschnittene Hohlkehlen *g* in der rechten Hälfte von Fig. 457, welche sich nach unten gleichfalls verflachen und dem Kapitälkerne anlegen, mithin hier die im Grundrisse 457a angegebene Gestalt annehmen; oder durch eine reichere Gliederung, wie in der linken Hälfte derselben Figur ersichtlich. Bewegter wird diese Gliederung, wenn auch die untere Kante sich spaltet und ihre beiden Teile in dem Masse, als sie sich dem Kerne nähern, auseinandergehen, wie in Figur 457 bei *x*.

Die hier dargelegte Gestaltung dieser Träger, die sich z. B. an den Kragsteinen der Kirche von Haina findet, ist nicht die älteste, im Gegenteile ist sie als eine aus früheren, reicheren ab-

geleitete anzusehen, wir hielten es aber eben wegen ihrer Klarheit und Einfachheit, welche die geometrische Entwickelung in so hohem Grade erleichtert, für vorteilhaft, sie den reicheren Bildungen vorausgehen zu lassen und gewissermassen als Wurzel derselben zu betrachten.

Zwei Reihen Blätter übereinander.

Bei grösserer Kapitälhöhe führt das Bedürfnis nach architektonischer Belebung und die Ausnutzung der Masse des Werkstückes darauf, die blattartige Gestaltung in halber Höhe in der Weise zu wiederholen, dass die Blätter sich frei aus dem Kerne herausschwingen. Es kommen dann die oberen Blätter aus der Mitte zwischen zwei unteren hervor, so dass sie dieselbe Stellung erhalten, wie die Akanthusblätter an dem korinthischen Kapitäle. S. Fig. 459 und 459a. Zierlicher wird das Kapitäl, wenn der pflanzliche Charakter dieser Träger stärker hervortritt, wenn also statt der Abschnitte die nach oben oder unten herumgerollten Spitzen der Blätter die Endungen bilden. Derartige sehr einfach gehaltene Kapitäle finden sich an den Rundpfeilern des hohen Chores der Kollegiatkirche zu Mantes, Fig. 400.*) Überhaupt ist es zunächst die verschiedenartige, zuweilen bis zum grössten Reichtume gesteigerte Behandlungsweise dieser Träger und ihrer Endungen, welche die einzelnen Kapitäle dieser Gattung kennzeichnet.

Ausbildung der Eckblätter.

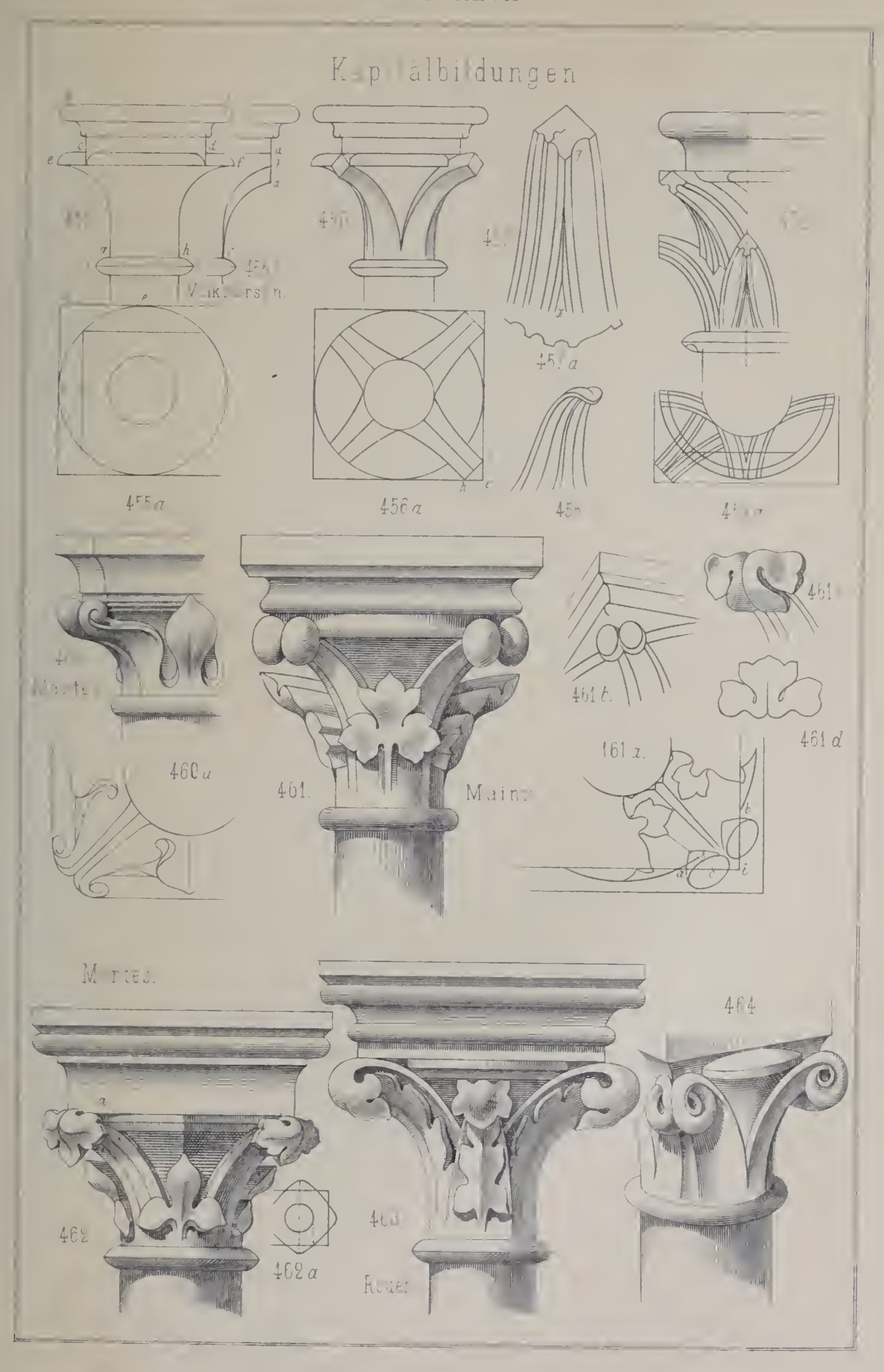
Wir können hier diese endlose Mannigfaltigkeit nur in wenigen Zügen andeuten. Jenes über den Kelchrand vortretende Dreieck *e a e* in Fig. 455a ist es, welches die Masse dieser Endungen hergiebt, aus welcher sich knollen-, knospen- oder blattartige Gestaltungen entwickeln, welche sich vor den Kelchrand legen, denselben in die viereckige Grundform überführen und die gleiche Wirkung wie die Voluten des korinthischen Kapitäles in besonders glücklicher Weise, hervorbringen. Die Figuren 461—461d, 462—466, 469, 473—480 zeigen verschiedene Beispiele für die allmählich fortschreitende Entwickelung, welche einen der Entfaltung der Knospe zum Blatte ähnlichen Gang einschlägt.

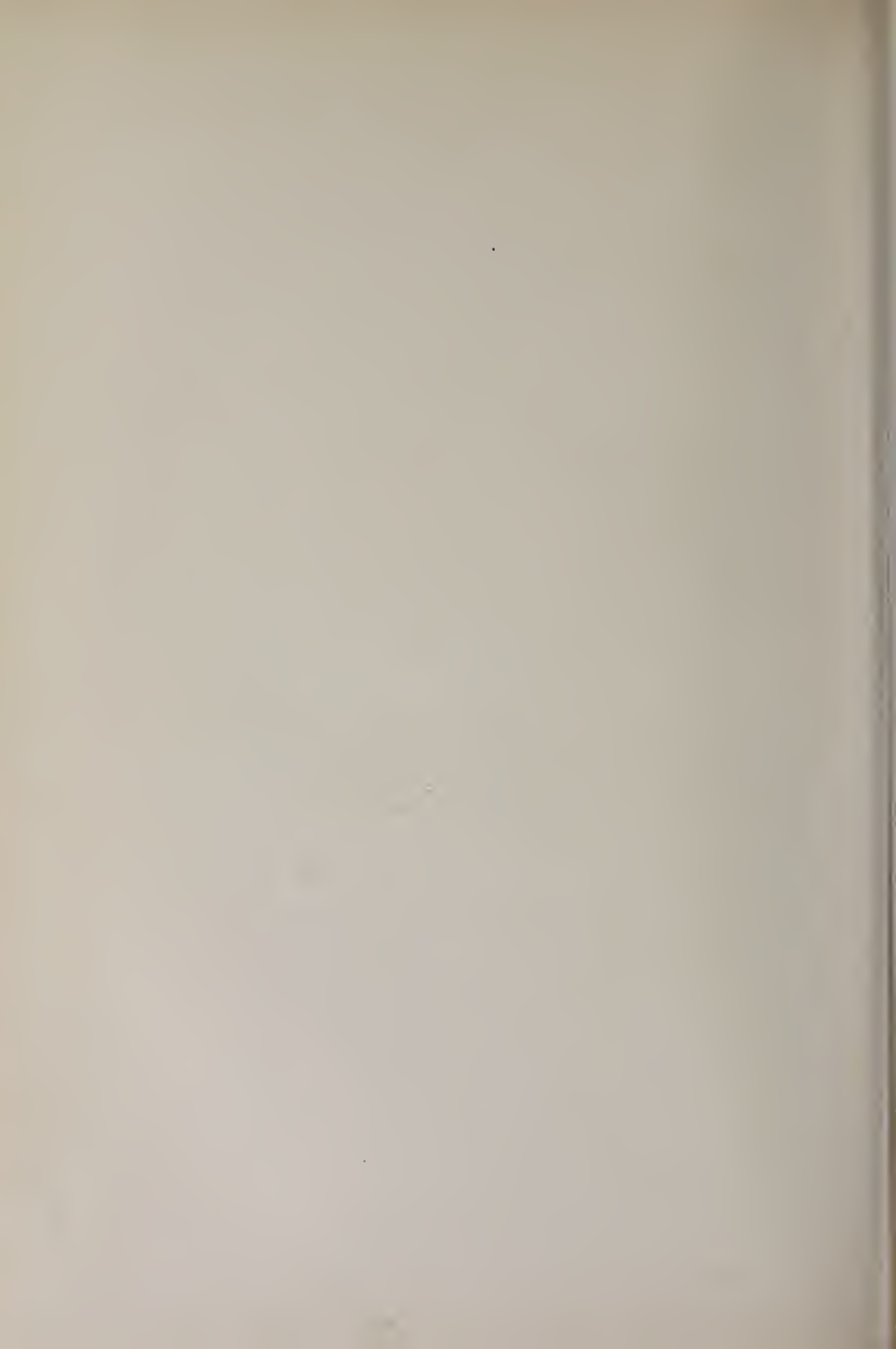
Die Figuren 461 und 461b zeigen die Knospen noch völlig geschlossen, knollenartig in einfachster Form. Bezeichnend ist für diese einfache Gestaltung die fast typische Anordnung von zwei Knollen, in welche der Träger sich teilt. Hieraus entwickelt sich die mehr einem umgerollten, unten gespaltenen Blatte ähnliche Bildung von Fig. 464, welche in Deutschland und Frankreich besonders häufig wiederkehrt und durch ihre leichte Erkennbarkeit eine besonders günstige Wirkung hervorbringt. Fig. 463 zeigt sodann ein einfaches wie in der Knospe geschlossenes Blatt, während die Figuren 465, 469, 469a, 473, 480 reichere, aber immer noch geschlossene Knospenformen aufweisen. Fig. 462 zeigt ein völlig entfaltetes Blatt, die Figur 466 förmliche Büschel und Fig 474 eine spätere mehr konventionelle Bildung. Einfachere Gestaltungen zeigen die Figuren 475—477. Zuweilen sind die blattartigen Endungen durch Köpfe ersetzt, wie im Chore des Domes zu Wetzlar (Fig. 471), oder es ist der ganze Träger zu einem grossen Tierkopfe geworden, wofür Fig. 470 ein Beispiel ebendaher und Fig 472 ein zweites aus der Kathedrale in Besançon darstellen.

Bei Vorhandensein einer zweiten unteren Blattreihe kann diese der oberen gleich geformt sein, häufig aber enthält die untere Reihe auch eine abweichende Gestaltung und besteht nur aus dem Kerne des Kapitäles angefügten, mehr oder weniger streng stilisierten Blättern. Beispiele dafür geben die Figuren 461, 462, 480. Wesentlich für die Wirkung des ganzen Kapitäles ist es, dass sämtliche dem Kapitäle anliegende Teile, die Träger der Ecken sowohl wie die Blätter des unteren Kranzes, sich in einer dem Profile des Kelches ähnlichen Linie herausschwingen

*) Ein Kapitäl aus derselben Pfeilerstellung findet sich bei VIOLLET-LE-DUC Tom. II. pag. 512, bei welchem an zwei Blättern die Enden nach oben, an zweien nach unten gerollt sind.

Tafel XLVII





und so die Wirkung desselben steigern. Deshalb ist für die unteren Blätter die in den obigen Figuren ersichtliche Linie des Profiles besonders bezeichnend.

Bei stärkerer Ausladung des Kapitäles können auch die Mitten des Kelchrandes in ähnlicher Weise wie die Ecken der Platte durch Träger verstärkt werden. Derartig sind die Kapitälträger im Schiffe der Kathedrale von Rouen (s. Fig. 463) gebildet.

Die Körper der Träger, die wir seither durch eine einfache Gliederung belebt gesehen haben, sind zuweilen durch untergelegte Blätter geschmückt, und zwar sind diese Blätter entweder einfach, wie in Fig. 463, oder in grösserer Zahl angeordnet und legen sich in letzterem Falle von der Mittellinie der beiden Träger nach beiden Seiten in den mannigfaltigsten Anordnungen. Ein einfaches, noch an die romanische Ornamentik anklingendes Beispiel dieser Art zeigt Fig. 465 vom Lettner der Kirche in Friedberg.

Übergang vom Kelch zum Abakus.

Wir haben in dem in Fig. 455a dargestellten Kapitälgrundrisse das untere Viereck des Abakus in den Kreis des Kelchrandes gestellt. Es wird aber hierdurch, besonders bei stärkerem Durchmesser der Säule, ein mächtiger Vorsprung des Kelchrandes vor den Seitenflächen des Abakus und eine weit ausladende Gliederung des letzteren notwendig, wenn derselbe nicht hinter dem Kelchrande zurückbleiben soll, ferner muss der Kelchrand selbst schon eine sehr beträchtliche Ausladung haben, wenn der Abakus überhaupt noch vor die Säulenflucht vortreten soll, und so wird endlich durch diese kräftigen Vor- und Rücksprünge auch eine gewisse Höhe für das ganze Kapitäl bedingt, welche bei kurzen, starken Säulen eine übermässig schwere Wirkung herbeiführen muss. Dieser Zwang wird aber beseitigt, sobald das untere Viereck des Abakus mit seinen Ecken über den Kelchrand hinausreicht, welcher letztere dagegen noch vor den Mitten der Seiten des Abakus einen Vorsprung behält. Dadurch wird die Notwendigkeit der Eckenträger noch gesteigert, welchen nunmehr eben jene vorspringenden Ecken der Platte unmittelbar aufzuliegen kommen, so dass der Kelchrand sich entweder an den Seitenflächen des Abakus oder an den Endungen der Träger oder an den letzteren selbst tot läuft.

Bei den ältesten Beispielen pflegen die vortretenden Ecken ihre wagerechte Unterfläche zu behalten, welche zwischen den Trägern und dem Kelchrande sichtbar bleibt, wie die Figuren 462 und 461, erstere aus der Kollegiatkirche in Nantes, letztere von einem, an der Ostseite des nördlichen Kreuzflügels des Domes in Mainz befindlichen Portale erweisen. Für letztere zeigt der Grundriss Fig. 461a in dem Dreiecke *a b c* eben jene wagerechten Unterflächen über dem Träger. An der ersten Figur machen wir noch auf den nach einem Vierbogen gestalteten Kelchrand aufmerksam, der sich in ähnlicher Weise auch in dem Chore der Kirche zu Gelnhausen findet und eine äusserst lebendige Wirkung hervorbringt.

Bald suchte man aber, diese wagerechten Unterflächen zu vermeiden, und gelangte so zu den in Fig. 466 und 464 dargestellten Gestaltungen. In Fig. 466, welche ein zweites Kapitäl von dem Friedberger Lettner darstellt, setzt sich der Körper des Abakus unmittelbar auf die Blattbüschel, welche eine jenem Dreiecke

a b c gerade entsprechende Grösse haben, während der Kelchrand an die Dicken dieser Blätter anschneidet, und ein Wasserschlag darüber sich an die Seitenflächen des Abakus anlegt. Bei anderen Beispielen setzt sich der Abakus mit einer Fase auf die Oberfläche des Kelches, und an den Ecken auf den Rücken des Trägers (s. Fig. 464). Eine verwickeltere, aber ganz glückliche Lösung zeigt ein Kapitäl von den Sedilien in St. Blasien in Mühlhausen (Fig. 467), welches gewissermassen die Eigentümlichkeiten der beiden letzterwähnten miteinander verbindet. Hier erhebt sich ein Wasserschlag von dem Kelchrande, welcher sich mit der an der Unterkante des Abakus befindlichen Fase durchdringt. Die letztere umläuft aber nicht die Ecke des Abakus, sondern geht an den über dem Kelchrande hinab auf die Blätter des Kapitäles sich setzenden lotrechten Fortsetzungen des Plattenkörpers herum, an welchen letzteren sich auch der Kelchrand tot läuft.

Das Übertreten der Ecken des Abakus über den Kelchrand lässt sich verringern oder ganz vermeiden durch Abfasen der Ecken, so dass nunmehr die Grundform des Abakus ein Achteck ist mit vier grossen und vier kleinen Seiten. Ein Beispiel dieser letzteren Art, welches zugleich den Übergang bildet zu den Kapitälen mit polygonalem Abakus, zeigt die Fig. 460.

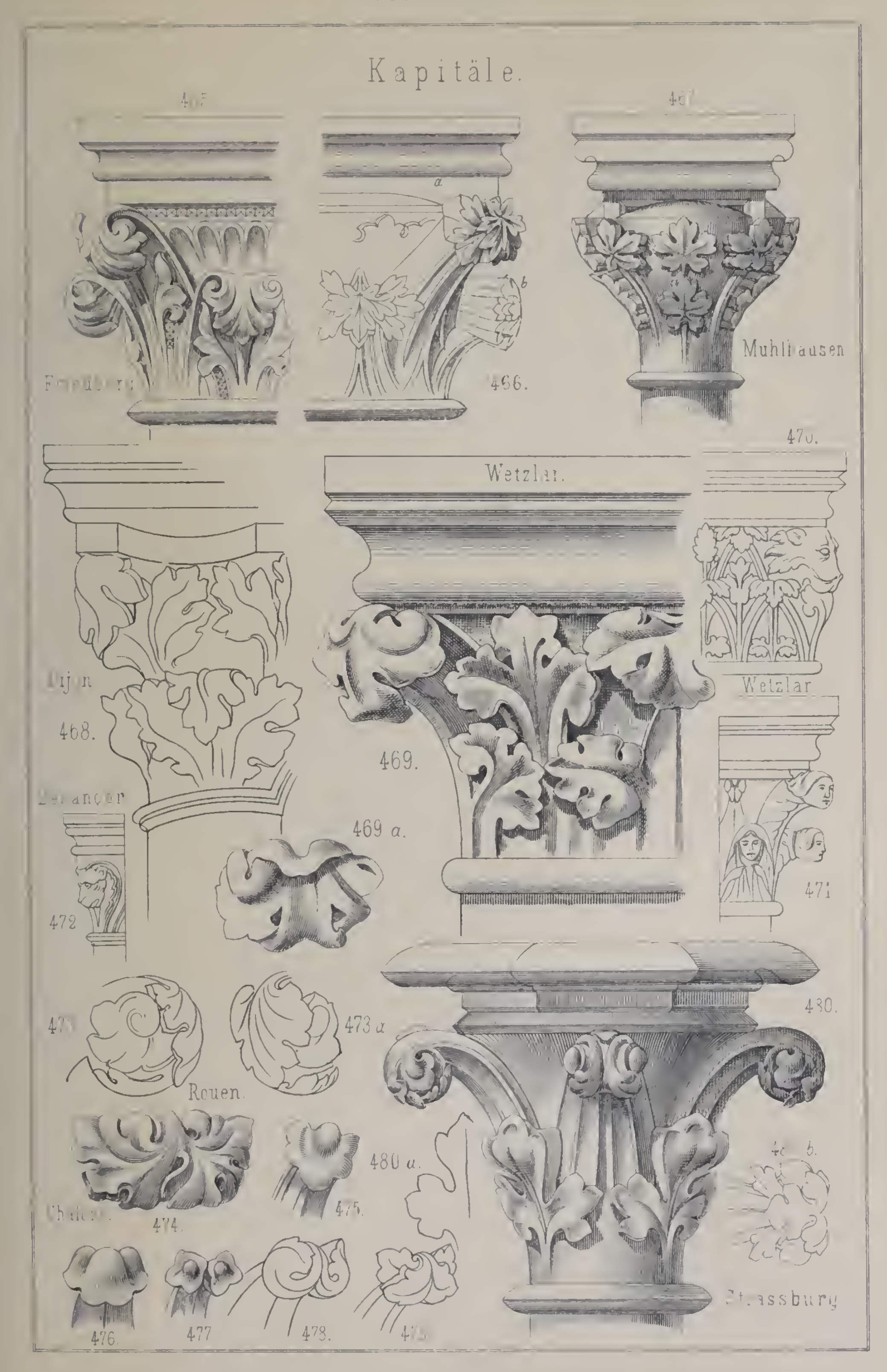
In den bis jetzt dargestellten Figuren sind die verschiedenartigsten Gestaltungen der drei Teile des Kapitäles, nämlich Abakus, Kelch und Astragal gegeben.

Form des Kelches.

Das Profil des Kelches, welcher sich als eine durch eine Hohlkehle gebildete Erweiterung des Säulenstammes gestaltet, in der Weise jedoch, dass der letztere noch über den Astragal hinausdringt und erst etwa in der Mitte der Kelchhöhe oder darüber in die Hohlkehle übergeht, ist beinahe typisch und schwankt nur hinsichtlich der Höhe und der Ausladung des Kelchrandes. Selten fehlt die Fortführung über den Astragal hinaus, wie in einem der Säle des ehemaligen Dominikanerklosters in Erfurt, und der Kelch gestaltet sich dann nach einer freieren Kurve.

Die Dicke des weit vor dem Grunde des Kelches vorliegenden Laubwerkes ist an den älteren Werken zuweilen winkelrecht auf denselben abgesetzt. Schon in der ersten Hälfte des XIII. Jahrhunderts aber sind die Blätter auch unterarbeitet, so dass die ihre Dicke begrenzenden Flächen unter schiefen Winkeln an den Kern schneiden. Ein derartiges Beispiel aus dem Schiffe des Münsters zu Strassburg zeigt Fig. 514. Zuweilen aber nimmt der Kern des Kapitäles eine dem Hauptprofile des Laubwerkes näher liegende bauchige Durchschnittslinie an, wie Fig. 467 zeigt, so dass hierdurch der Auftrag der Blätter verringert wird. Diese Gestaltungsweise zeigen die aus der zweiten Hälfte des XIV. Jahrhunderts stammenden Kapitäle der Kirche zu Frankenberg, sie erleichtert die Ausführung sehr, bringt aber auch eine weit schwächere Schattenwirkung hervor.

Der Rand des Kelches wird in einfachster Weise durch eine Platte gebildet, siehe *b* in Fig. 510a. Diese Platte erhält zuweilen nach oben einen Wasserschlag oder verrundet sich entweder nur oben oder auch nach unten; in gleicher Weise wird auch die untere Kante durch eine Fase, wie in Fig. 461, oder durch eine Hohlkehle gebrochen. Seltener nimmt der Rand des Kelches eine von dem Kreise abweichende Grundform an. Ein sehr eigentümliches Beispiel dieser Art

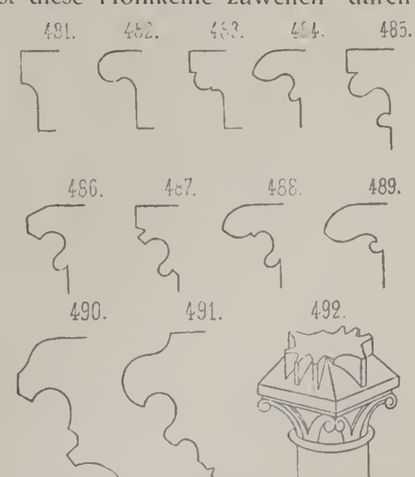

Kapitäle.
466.
Wetzlar.
Wetzlar
468.
469.
469 a.
471
472
473 a
Rouen.
480 a.
474.
475.
476.
477
478.
480.



zeigt die Fig. 468 aus der Vorhalle der Kathedrale zu Dijon, wo die Grundform des Kelchrandes noch auffallend an das korinthische Kapitäl anklingt. Ein anderes Beispiel zeigt Fig. 462a.

Höhe und Gliederung der Deckplatte.

Von besonderer Wichtigkeit für die gute Wirkung des ganzen Kapitäles ist eine gewisse Höhe des Abakus, wenigstens bei den bis jetzt besprochenen, mehr konstruktiven Kapitälformen, in welchen der Abakus eine vorwiegende Selbständigkeit in Anspruch nimmt. Diese Höhe steht in einem gewissen Verhältnisse zu der Ausladung des Kapitäles oder vielmehr zu der Grösse ihrer Grundrissform. Es kann dasselbe freilich nicht normiert werden, wie überhaupt die gotische Architektur sich von jeder ängstlichen Beschränkung durch starre Verhältnisse fern hält. Schon die endlose Mannigfaltigkeit ihrer Bildungen würde eine solche Regelung derselben unmöglich machen. Gewöhnlich pflegt das Verhältnis der Höhe des Abakus zu der Seite des Quadrates zwischen 1:4 und 1:2 zu liegen, in der Frühzeit ist er meist hoch, in der Spätzeit niederer. Die Profilierung des Abakus zeigt fast immer unten eine lotrechte Seitenfläche, dieselbe wird zu einem beinahe notwendigen Bestandteile, wenn die Ecken des Abakus über den Kelchrand vorspringen. Der obere Rand derselben wird von einer Gliederung umzogen, die einfachsten Falles eine hohlkehlenartige Erweiterung ist (Fig. 481). Anstatt des oberen Plättchens ist diese Hohlkehle zuweilen durch einen Rundstab nach oben abgeschlossen und dann auch wohl unterschnitten, wie in Fig. 482, oder durch einen Rundstab mit Plättchen darüber gebildet, wie in Fig. 483. Reicher wird die Gliederung, wenn die Hohlkehle sich auch nach unten durch einen Rücksprung oder einen kleineren Rundstab von der lotrechten Seitenfläche absetzt, wie in Fig. 484 und 485. Eine besonders wirksame Gliederung ist die in den Figuren 486 und 487 gezeigte (vgl. auch Fig. 461, 465 und 469). Eine weiter ausladende, stark unterschnittene Form zeigt sodann Fig. 488 und 489 (sowie 480) und eine mehr antikisierende die Fig. 468. Jene untere lotrechte Seitenfläche des Abakus bezeichnet in der Regel den äussersten Vorsprung der vom Kapitäl getragenen Bogen oder Rippen, besonders dann, wenn der obere Rand eine starke Ausladung bei geringerer Höhe hat, wie in den Figuren 488 und 489, während bei einer kräftigen Profilierung, wie in Fig. 481 bis 485, auch der Vorsprung des Randes teilweise wenigstens den Rippen als Auflager dienen kann.



Wenn das oberste Glied dieses Randes ein Plättchen ist, so schliesst dasselbe entweder durch eine rechtwinkelige Kante ab oder durch eine Fase, wie in Fig. 486. Diese Fase wird in zierlicherer Weise durch eine Verrundung, wie in Fig. 489, oder auch durch eine Schweifung ersetzt, wofür die Figuren 490 und 491 zwei Beispiele geben, ersteres von den unteren Bogenblenden in der

Kathedrale von Chalons, letzteres von den entsprechenden Teilen der Kathedrale von Rouen. Es kann sich ferner die Fase zu einem Wasserschlage gestalten, der sich von dem äussersten Rande aus bis in die, zwischen den zusammenschneidenden Bogengliederungen befindlichen tiefsten Punkte hebt. Es hat diese Anordnung besonders im Freien einen gewissen praktischen Nutzen, insofern sie das Regenwasser von der Fuge entfernt; die Ansätze für die Bogenglieder müssen dann an dem Kapitäle stehen bleiben, so dass dasselbe die in Fig. 492 in der perspektivischen Ansicht gezeigte Gestaltung erhält.

Form des Astragal

Der Astragal gestaltet sich einfachsten Falles als Rundstab, wie in Fig. 493 und 494, dessen Profil jedoch selten einen wirklichen Kreisteil, in der Regel eine freiere Biegung zeigt, wie in Fig. 495 und 496. Entschiedener aber wird die Wirkung, wenn er nach einer linsenförmigen Linie gebildet ist (Fig. 497), welche entweder aus zwei symmetrischen oder unsymmetrischen Kurven besteht, von denen die untere eine flache Schweifung und eine Unterschneidung (Fig 498) erhält, welche letztere zuweilen durch eine angeschobene Schräge, wie in Fig. 499, schärfer ausgesprochen wird. Kräftiger wird die Schattenwirkung noch, wenn, wie in Fig. 500 und 501, aus der unteren Hälfte eine Hohlkehle heraus gearbeitet ist. Die obere, nach einer Kurve gebildete Fläche geht häufig in einen einfachen Wasserschlag über (Fig. 501 a).

493. 494. 495. 496. 497.

498. 499. 500. 501. 501 a.

Bei Kapitälen von sehr geringer Ausladung sind die Glieder des Abakus bisweilen so steil gemacht, dass sie fast in einer Senkrechten liegen. Als Ausgleich für die mangelnde Ausladung haben dann die Glieder eine grössere Höhe erhalten. Ein derartiges Beispiel aus dem Kapitelsaal vom Kloster Haina zeigt Fig. 536.

Kapitäle mit vieleckiger und runder Platte.

Achteckige Platte.

Wir haben oben bereits einen Abakus von der Grundform eines Quadrates mit gefasten Ecken angeführt. Durch eine entsprechende Vergrösserung dieser Abeckung geht dann der Grundriss in das regelmässige Achteck über. Die Vorteile der vieleckigen Platte lassen sich darin zusammenfassen, dass die Gesamtmasse der dem Kapitäle aufsitzenden Bogenglieder in der Regel eine von dem Quadrate weit abweichende und dem Kreise oder Polygone näherkommende Grundfläche einnimmt, dass daher die Ecken des Quadrates ohne Belastung bleiben und eine in gewissen Fällen unbequeme Ausladung bedingen würden. Die Annahme der polygonalen, zunächst der achteckigen Grundform hängt aber auch mit dem Bestreben zusammen, die lotrechte Richtung in einer gesteigerten Weise zum Ausdruck zu bringen und der wagerechten eine mehr untergeordnetere Stellung anzuweisen. Die Wirkung der lotrechten Richtung, die sich im Innern vor allem in dem System der Pfeiler und Dienste, in dem Zusammenhang der letzteren mit den Bogenlinien ausspricht, wird aber, wenigstens übereck gesehen, wesentlich beeinträchtigt durch die weite Ausladung jener rechtwinkligen Ecken.

Hatte man doch schon im Übergangsstile darin einen Übelstand zu finden geglaubt und deshalb häufig dem viereckigen Kapitäle auch das unterste Werkstück des Bogens in viereckiger Grundform aufgelegt und erst über dem Kapitäle den Übergang in die Bogengliederung in einer weitaus reicheren Weise gebildet, als dies durch ein unmittelbares Aufsetzen auf dem Kapitäle geschehen konnte.

Das Achteck kommt in der Regel dem Grundrisse eines aus mehreren Bogen und Rippen bestehenden Gewölbeanfanges am nächsten und ist daher für einheitliche Pfeiler oder für die mehrere Rippen tragenden Dienste eine besonders geeignete Kapitälform. Dem Grundrisse einer einzeln gestellten Rippe entspricht als Dienstkapitäl oft besser das übereck gestellte Sechseck, ja, es kann das überwiegende Höhenverhältnis des Rippenprofiles darauf führen, die in der Richtung der Rippe gelegenen Winkel noch spitzer, etwa gleich einem rechten Winkel zu machen und so vom regulären Polygone abzugehen. Ein Beispiel solcher sechseckigen Dienstkapitäle siehe in Fig. 511.

Ebenso führt in gewissen Fällen die Eigentümlichkeit des Bogengrundrisses darauf, das regelmässige in ein unregelmässiges Achteck umzuwandeln. Derartige Fälle ergeben sich zunächst an den Pfeilerstellungen der mit Umgängen versehenen polygonalen Choranlagen (siehe Fig. 425), können indes auch bei den Schiffspfeilern auftreten, wie die in Fig. 448 im Aufrisse und in Fig. 286 im Grundrisse dargestellten Pfeiler von Notredame in Dijon zeigen.

Wie in allen diesen Fällen der Grundriss des Bogenanfanges den des Abakus beherrscht, so hat, an einzelnen Diensten in dem südlichen Seitenschiffe der Minoritenkirche in Köln, das Aufsetzen von einer Gurt-, zwei Kreuz- und zwei Schildbogenrippen auf einem Kapitäle auf einen sternförmigen Grundriss des Abakus geführt.

Aufriss der Kapitäle mit vieleckiger Platte.

Die Aufrissbildung geschieht nach den eben erwähnten Grundrissformen des Abakus in derselben Weise wie nach der quadratischen. Der Körper des Abakus setzt sich auf den Rand des Kelches auf oder ladet darüber aus und zwar entweder nur mit den Ecken oder in der Weise, dass der Kreis des Kelchrandes in das Achteck beschrieben ist. Zuweilen wird dann die Fläche des Kelchrandes durch eine an der unteren Ecke des Abakus angebrachte Fase wiedergewonnen (siehe Fig. 480). Naturgemäss ändern sich auch die blattartigen Träger. Sollen dieselben, wie bei den viereckigen Kapitälen, die Ausladung der Ecken stützen, so kommt unter jede der acht Ecken einer, mithin auf das ganze Kapitäl acht, und wenn zwei Reihen derselben angebracht sind, sechzehn. Ein derartiges Beispiel zeigt Fig. 448. Diese Unterstützung der Ecken des Abakus wird besonders da notwendig, wo derselbe entweder ganz oder, wie bei der unregelmässigen Gestaltung von Fig. 448, teilweise über den Kelchrand ausladet. Wo letzteres aber nicht der Fall ist, wo der Abakus auf dem Kelchrande aufsitzt, da hört jene Unterstützung der Ecken auf, unbedingt erforderlich zu sein, die Träger treten mehr in ausschliessliche Beziehung zum Kelchrande, bilden gewissermassen eine Verstärkung desselben in ähnlicher Weise, wie sie eine Gesimsplatte durch Tragsteine erhält. Demgemäss können sie auch eine andere Zahl und Stellung erhalten, indem sie z. B. unter die Mitten der Achteckseiten zu stehen kommen, zu vieren an dem Kelche geordnet sind und aus demselben entweder in der Richtung

der Seiten, wie in Fig. 480, oder der Diagonale des Quadrates sich herausschwingen.

An den Dienst- und Säulenkapitälen des XIV. und XV. Jahrhunderts wird oft der Übergang aus der runden Grundform in die polygonale des oberen Randes im Kelche selbst durch eine von oben nach unten zunehmende Verrundung der Flächen und Abstumpfung der Kanten bewirkt. Ein Vortreten des Kelchrandes wird dann überflüssig, die Scheidung der einzelnen Teile des Kapitäles hört auf, und die Träger der Ecken können wegfallen. In der Anordnung der Kanten bietet sich das Mittel zu der Gewinnung einer jeden irregulären Polygonform des oberen Randes. Das ganze Verhältnis wird verdeutlicht durch den Vergleich der Figuren 502 und 503, von denen erstere ein nach der älteren Weise gebildetes laubloses Kapitäl aus der Kathedrale in Dijon, letztere ein nach der eben erwähnten gestaltetes darstellt.

Runde Platte.

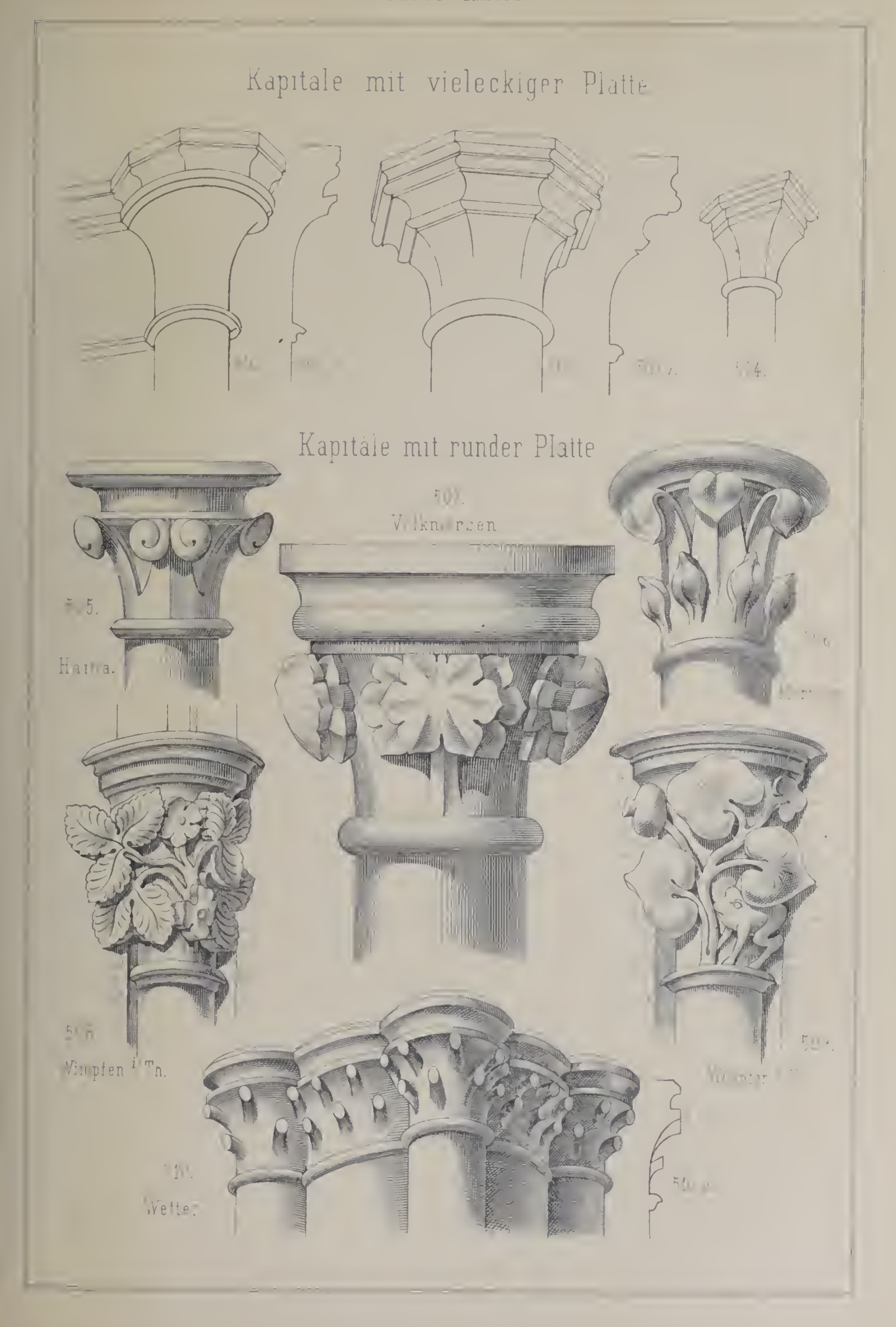
Verwandt dem polygonalen ist der runde Abakus, welcher an den Schiffspfeilern in England die Regel bildet, in Deutschland an den frühgotischen Werken in Westfalen und Hessen häufig vorkommt und hier erst im XIV. Jahrhundert in die polygonale Form übergeht. Die Vorteile desselben den quadratischen gegenüber sind im wesentlichen dieselben wie beim Vielecke. Dagegen ermangelt die runde Form der Dehnbarkeit, die durch den Übergang in unregelmässige Vielecke gegeben ist.

Da das runde Kapitäl in der Grundform des Dienstes oder der Säule bleibt so hat es ausschliesslich eine Ausladung zu bewirken. Dennoch bleibt in den älteren Beispielen wenigstens die Anordnung noch dieselbe, die sich aus dem viereckigen und polygonalen Kapitäle entwickelt hatte. Der Kelch wird durch einen Rand abgeschlossen, auf welchen der runde Abakus zu liegen kommt, und selbst die Träger behalten ihren Platz. Fig. 510 zeigt ein derartiges Pfeilerkapitäl aus dem Schiffe der Kirche in Wetter in der perspektivischen Ansicht, Fig. 510a das zugehörige Profil. Fig. 505 zeigt sodann ein Dienstkapitäl der Kirche zu Haina, in welchem die ursprüngliche Gestalt der Träger noch entschiedener beibehalten ist, und Fig. 506 ein Kapitäl von einem Fensterpfosten der Elisabethkirche in Marburg. Aber es lässt sich nicht verkennen, dass diese Anordnung eine rein konventionelle wird, dass strenggenommen der Abakus nur den profilierten Rand des Kelches, die Blätter weniger Stützen als ein Ornament des Kelches bilden, dass es daher nahe lag, das veränderte Verhältnis zum Ausdruck zu bringen, wie dies an dem Kapitäle der Kirche in Volkmarsen (Fig. 507), noch entschiedener aber an den Dienstkapitälen im Kreuzgang zu Wimpfen im Thale (Fig. 508 und 509) geschehen ist.

Kapitäle eckiger Pfeiler.

Die Kapitäle viereckiger Pfeiler haben mit den runden Säulenkapitälen das gemein, dass kein Übergang aus einer Grundform in die andere stattfindet. Es fällt demnach der vortretende Kelchrand weg, die Blattträger werden unter den Ecken wegen der weiteren Ausladung derselben beibehalten und wiederholen sich bei grösserer Breite des Kapitäles ein oder mehrere Male vor den Seiten.

Tafel XLIX.



Kapitale mit vieleckiger Platte
504.
Kapitale mit runder Platte



Sehr schöne Beispiele dieser Art finden sich im Chore des Domes zu Wetzlar, von welchem wir in Fig. 469 und 470 zwei Beispiele bringen. Die Anordnung von Fig. 470 ist insofern eine konsequentere, als die weitere Ausladung der Ecke hier auch eine kräftigere Unterstützung gefunden hat. An Fig. 469 ist die überaus sinnreiche Anordnung der unter und zwischen den Trägern angebrachten Blätter, von denen das obere sich dem Eckenträger zuneigt und hierdurch eine äusserst lebendige Wirkung hervorbringt, sowie die schöne kraftvolle Behandlung des Laubwerkes zu beachten, von welcher unsere Figur freilich nur einen unvollkommenen Begriff geben kann. Die Fig. 469a zeigt dann die Endigung eines anderen Trägers von demselben Kapitäle.

Die Kapitäle polygonaler Pfeiler bleiben entweder in der Grundform der Pfeiler oder gehen in andere Formen z. B. ins Viereck über. Im ersteren Falle würde ihre Aufrissentwickelung der der runden oder achteckigen, im letzteren der der viereckigen Säulenkapitäle entsprechen. Der Übergang ins Quadrat lässt sich leicht aus dem übereck stehenden Achtecke entwickeln, weil dann die Ecken des Abakus auf jene des Kelchrandes zu stehen kommen, aus dem geradstehenden aber am besten so, dass das Achteck des Kelchrandes in das Quadrat der Platte beschrieben würde. Indes würde der Kapitälrand auch die runde Grundform erhalten können und dann in dem Körper des Kelches selbst ein Übergang aus dem Achtecke in den Kreis zu bilden sein. Es geschehe dies dadurch, dass die über dem Astragale noch den Polygonwinkeln entsprechenden und durch die Polygonseiten verbundenen Kanten mit dem Beginne der Ausladung immer stumpfer würden und sich unter dem Kapitäle völlig verlören und dass in demselben Verhältnisse die sie verbindenden, anfangs ebenen Flächen in die gebogene Form allmählich übergingen.

Laubwerkkapitäle der mittleren und späteren Zeit.

Die Bildungen der Laubwerkkapitäle der mittleren und späteren Periode wurzeln in den frühgotischen. Es ist schon oben erwähnt, wie die anfangs geschlossenen Blätter, die die Endungen der Träger bilden, sich freier entfalten; in dem Masse nun, wie diese Blätter sich ausbreiten, verdecken sie den Körper des Trägers, welcher demnach nur noch dazu dient, die Ausladung der Blattbüschel vor dem Körper des Kapitäles zu vermitteln, zumal dann, wenn seine ursprüngliche Aufgabe des Tragens bei den erwähnten Umbildungen der Kapitälgestaltung mehr zurücktritt. Er erhält daher eine immer untergeordnetere Gestaltung und spricht sich bald nur noch in den unterhalb der Blattbüschel sichtbar werdenden Stengeln aus, während der Zusammenhang der Blätter mit dem Kapitäle durch die winkelrecht oder in schräger Richtung auf die Fläche des letzteren durchgearbeiteten Dicken vermittelt wird, die sich schon in Fig. 466 zeigen. Es besteht daher nunmehr die ganze Gestaltung in Blattbüscheln, deren Stiele aus dem Kerne des Kapitäles entweder in schräger oder winkelrechter Richtung herauswachsen und in letzterem Falle durch die Blätter selbst verdeckt werden können, wie in Fig. 526. Fig. 507 zeigt ein Beispiel der ersten Art aus der Kirche in Volkmarsen. Der Kelch kann mit einzelnen Blättern belegt sein (Fig. 512) oder

Blattbüschel.

mit zwei oder drei Blättern, unter denen häufig das mittlere Blatt einen Umschlag oder vor den anderen einen kräftigen Vorsprung bildet. Die Fig. 511 zeigt ein der nördlichen Treppe von den Chorschranken des Mainzer Domes entnommenes Beispiel, in welchem durch den Kontrast des weit ausladenden mittleren zu dem flach anliegenden Seitenblatte die ruhige, klare Wirkung der Träger einen glücklichen Ersatz findet. Diese Blattbüschel wiederholen sich entweder um das Kapitäl herum in einer oder in zwei Reihen wie in Figur 512 von der südlichen Treppe an den Chorschranken des Mainzer Domes und in Figur 514 vom Schiffe des Strassburger Münsters. An einem Kapitäle im Chore von St. Blasien zu Mühlhausen (Fig. 513) besteht das ganze Ornament des Dienstkapitäles in drei von den aneinanderstossenden Stielen sich ausbreitenden Blättern. In dem Schiffe derselben Kirche findet sich auch die weniger glückliche Anordnung, dass die Blätter mit den Spitzen nach unten dem Kelchrande vorgelegt sind.

In Figur 467 brachten wir ein frühgotisches Beispiel, in welchem dem Kerne des Kapitäles zwei Reihen völlig regelmässig gestellter Blätter angelegt waren. Häufig aber wird diese lotrechte Stellung der Blätter durch eine geschmeidigere Biegung nach der Seite ersetzt. Sie biegen sich dann in einer Reihe entweder alle nach derselben Richtung oder je zwei mit den Spitzen auseinander; in zwei Reihen entweder parallel oder divergierend. Sie liegen entweder alle frei zu Tage oder verdecken sich teilweise. Fast immer aber ist ihre Anordnung charakteristisch, so dass sie sich einprägt wie eine glückliche Melodie und den Beweis liefert, dass sie mit Liebe erdacht ist.

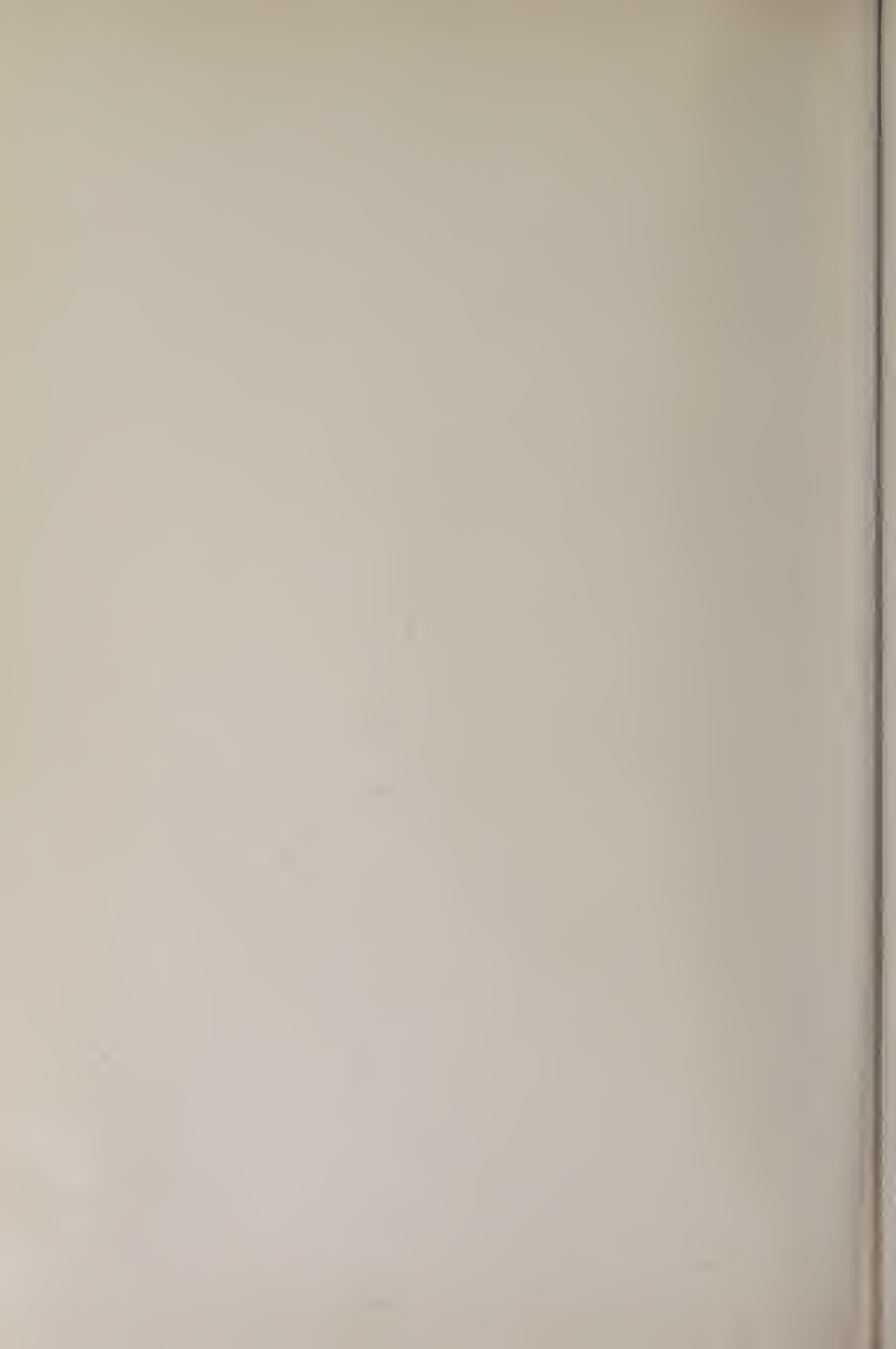
Angelegte Blattzweige.

Schon in den Werken des Übergangsstiles finden sich zuweilen Kapitäle, deren Ornament in einem sich darum rankenden, mit Blättern, Blumen und Früchten bewachsenen, nahezu naturalistisch gebildeten Zweig besteht.*) Ebenso kommen an den frühgotischen, viereckigen wie runden Kapitälen zuweilen angelegte Zweige zwischen den Eckträgern vor, deren Blätter sich in völlig unsymmetrischer Weise ausbreiten; so in den Kapitälen der aus der ersten Hälfte des XIII. Jahrhunderts stammenden Vorhalle der Stiftskirche in Fritzlar. In dem sogenannten Judenbad zu Friedberg finden sich sodann viereckige Kapitäle, an welchen durch die planmässige Anordnung dieser Zweige mit den daran wachsenden und teilweise sich umbiegenden Blättern die Eckenträger ersetzt oder verdeckt sind; Fig. 515 zeigt eines dieser Kapitäle. Schon im Laufe des XIII. Jahrhunderts fing man an durch kleinere, mit wenigen Blättern bewachsene, dem Kapitälkörper angelegte Zweige die Blattbüschel zu ersetzen. Es war hierdurch ein Mittel gegeben, grössere Mannigfaltigkeit zu erzielen, indem man die diesen Zweigen anwachsenden Knospen, Blumen, Beeren, Früchte in den Kreis der Ornamentik zog. Es finden sich derartige Beispiele, wenngleich vereinzelt und in strengerer Haltung, schon an den frühgotischen Werken, z. B. im Dome zu Naumburg. In der Figur 516 geben wir ein Beispiel von derartigen Zweigen aus der Mitte des XIV. Jahrhunderts von den Kapitälen des Portales am südlichen Kreuzflügel der Marienkirche in Mühlhausen und in Fig. 517 einen solchen

*) Ein schönes Beispiel dieser Art aus dem Dome von Karlsburg findet in Siebenburgen sich in dem Jahrbuch der k. k. Zentralkommission. 3. Band, S. 168.

Tafel L.


Laubwerkkapitäle der mittleren und späteren Zeit.
514
517.
518.
521.



von einem Pfeilerkapitäle im Innern derselben Kirche. Statt dieser den oben erwähnten Blattbüscheln verwandten Anordnung einzelner Zweige wird zuweilen auch das ganze Kapitäl von einem solchen Zweig umschlungen, der sich dann entweder schräg stehend oder kranzartig daran legt, so dass von demselben die Blätter nach allen Seiten wachsen und mit Blumen und Früchten durchwebt sind.

Derartige freiere Bildungen erfordern dann auch eine freiere technische Behandlung und so wird die Blattdicke unterarbeitet nach einer mit der Oberfläche einen sehr spitzen Winkel bildenden Richtung, wobei der spitze Winkel auf der Kante durch eine Fase oder eine Verrundung vermieden wird. In derselben Weise werden auch die Früchte, Blumen und Stengel unterarbeitet, so dass besonders die Stengel zuweilen auf kürzere Strecken frei von dem Kerne abliegen; solche freiliegende Teile finden sich schon an einzelnen, noch stark romanisierenden Kapitälen zu Gelnhausen.

Bearbeitung des Blattwerkes.

Bewegen sich nun die geschilderten Gestaltungen im ganzen auf dem Wege der fortschreitenden Naturnachbildung, so kommen neben denselben auch andere, gleichfalls von den frühgotischen Werken abgeleitete Motive vor, deren verschiedene Behandlungsweisen zu den entgegengesetzten Resultaten führten, und sogar in den spätgotischen Werken jene naturalistischen Bildungen verdrängten, um dafür schematische Umrisse des Laubwerkes an die Stelle zu setzen. Diese Bestrebungen nehmen ihren Ausgang von den in der Frühzeit sehr schön aufgefassten zusammengesetzten Blättern, Beispiele zeigen Fig. 468 und 518, letztere schon aus der ersten Hälfte des XIII. Jahrhunderts, aus dem östlichen Flügel des Kreuzganges vom Dome in Erfurt (Fig. 518) in einer überaus feinen Behandlungsweise. Ein späteres, noch zierlicheres Beispiel derselben Art zeigt sodann das den unteren Bogenblenden im Innern der Kathedrale von Chalons entnommene Kapitäl (Fig. 520).

Wo die Entfernung derartiger Blätter vom Auge eine grössere wurde, da mussten sie natürlich der Erkennbarkeit halber in grösseren Zügen ausgeführt werden, wie einige der oberen Dienstkapitäle der Kathedrale von Rheims zeigen (s. Fig. 519). Überhaupt aber fordert die Grösse der Fläche, welche ein derartiges Blatt einnimmt, eine gesteigerte Modellierung, eine schärfere Betonung der Umrisse.

Besonders nachahmungswert ist gerade in dieser Hinsicht die Behandlungsweise, welche gewissen Kapitälbildungen dieser Art aus der zweiten Hälfte des XIII. Jahrhunderts eigen ist, wofür wir eben Fig. 520 als Beispiel anführten. Das Charakteristische derselben liegt nämlich darin, dass sich durch die Anordnung und Lage der einzelnen Blattteile gewisse Partieen bilden und so die Klarheit und Ruhe der älteren Trägerkapitäle erreicht wird. So giebt Fig. 520 das geometrische Prinzip der Fig. 480 in einer völlig veränderten Gestaltung wieder. Die Träger werden gebildet durch die sich unter den Kelchrand legenden oberen Endungen der vier Hauptblätter, deren untere Seitenpartieen sich in einer schrägen Fläche über den kleineren Zwischenblättern herausbiegen, letztere gewissermassen überdachen und in Verbindung mit denselben für den Vorsprung der unteren Blattreihe einen Ersatz bilden. Ähnliche Gestaltungen finden sich sodann an den Säulenkapitälen der Bogenblenden des Strassburger Münsters und in mehr naturalistischer Weise auch in Freiburg.

In den späteren Kapitälbildungen hören diese sinnreichen Anordnungen auf, und vom XV. Jahrhundert an suchte man diese grossen Blattflächen zu beleben

durch übertriebene Bewegung der einzelnen Blätter, durch gesteigerte Biegungen und schwülstige Auswüchse. Indes finden sich noch in der letzten Periode desselben neben jenen übertriebenen Bildungen immer auch einfacher behandelte, vornehmlich in den mit einer gewissen Sparsamkeit ausgeführten Werken. Wir geben in der Fig. 521 ein Beispiel der letzteren Art, welches einer im XIV. Jahrhundert an der Kirche in Volkmarsen ausgeführten Veränderung angehört.

Was nun die eigentliche Behandlung des Laubwerkes betrifft, so können wir dieselbe nur in einigen grossen Zügen andeuten, wie denn überhaupt mit Worten und selbst mit in kleinem Massstabe gehaltenen Abbildungen hier wenig gethan ist und ausgiebige Belehrung nur durch das Studium der Monumente erlangt werden kann. In die ersten gotischen Werke zieht sich noch das streng stilisierte romanische Blatt hinein, bald verschwindet es aber. Das Laubwerk aller Perioden der gotischen Kunst findet seine Vorbilder in der Natur. Kaum dürfte es einen Baum, eine Pflanze geben, die nicht in den Kreis der ornamentalen Bildungen gezogen wäre. Diese Mannigfaltigkeit ist in einzelnen Werken, selbst in einfacheren und kleineren, zuweilen so gross, dass, wie schon Kreuser bemerkt, das Bestreben, allem, was auf der Erde lebt, seinen Platz in der Kirche anzuweisen, nicht verkannt werden kann. Vorzugsweise sind es Ahorn, Rotdorn, Eiche, Esche und Buche, Zaunrübe, Schöllkraut, Wein, Epheu und Hopfen, die Rose, der Eisenhut, Rübe, Kohl und Klee, Hahnenfuss, Malve, welche als Vorbilder gedient haben. Der Ausdruck Vorbilder ist insofern unrichtig, als man in den besseren Perioden eine wirkliche Nachbildung der natürlichen Vegetation nicht beabsichtigte, vielmehr die Gestaltungen derselben durch den Stil zu den verschiedenen ornamentalen Bildungen umschuf.

Laubwerk der früheren und mittleren Zeit

In der frühgotischen Periode helfen die verschiedenen Blätter das Kapitäl erzeugen, sie erfüllen gewissermassen einen struktiven Zweck, ihre Entfernung würde den Körper des Kapitäls als Missgestalt zurücklassen. Demgemäss ist es das Profil des Kelches oder der kugelartigen Endung des Trägers, welches die Bewegung des Blattes vorschreibt. Das Charakteristische des natürlichen Blattes musste daher jenen vorherrschend einfachen Kurven gemäss selbst vereinfacht und in grösseren Zügen wiedergegeben werden. So finden sich hier überall scharf betonte Umrisse, an welchen alle kleinlichen Spitzen und Ausbiegungen vermieden sind, breite, entweder ganz rippenlose oder doch nur durch Kanten und tief geschnittene Kehlen geteilte Flächen; die Modellierung ist einfach gehalten, so dass in dem Blatte selbst breite, weiche Schattentöne sich bilden. Da aber, wo die Profillinie des Blattes eine kurze Biegung macht, wird die Wirkung derselben zuweilen noch durch Ausbiegungen verstärkt, deren kräftige Schatten mit jenen weicheren kontrastieren und so dem Ganzen zu einer lebendigeren Wirkung verhelfen. In dem Masse aber, als das Laubwerk zu einem dem Kelch angehefteten Schmuck wurde, strebte man danach, diese Effekte zu vervielfältigen, die Ausbiegungen auch da anzubringen, wo sie nicht durch die Hauptlinie des Blattes angezeigt waren, bis man auch der letzteren eine mehr wellenartig bewegte Form gab. Auch hierzu bietet das natürliche Blatt die Motive und zwar in seiner völligen Entfaltung am hohen Mittage, wenn die Strahlen der

Sonne darauf wirken und dasselbe zu gewissen Biegungen zwingen, welche die Mannigfaltigkeit der Schattenwirkung erhöhen. Dabei findet da, wo mehrere Blätter in Gruppen oder Büscheln geordnet sind, häufig ein Wechsel statt hinsichtlich der nach aussen gekehrten Blattseiten. Es ist derselbe nicht ängstlich durchgeführt, so dass etwa das eine Blatt die Form bilden sollte, in welche man das andere giessen könnte, aber die Eigentümlichkeiten der verschiedenen Seiten sind in der Anlage der Rippen sowohl, wie in der Plastik der Flächen wiedergegeben. Bald macht sich dann das Bestreben geltend, die Grundform des Blattes, d. h. die demselben zu Grunde liegende geometrische Figur, immer schärfer auszusprechen. Die Form des Kapitälkernes, also des Kelches, ist dabei für die Blattwerkgestaltungen nur insofern von bedingendem Einflusse, als die Blätter sich mit einzelnen Teilen demselben anlegen und etwa unter dem Rande umbiegen.

Laubwerk der späteren Zeit.

Gesteigerte Bewegung in der Modellierung wie in den Konturen kennzeichnet sodann das Laubwerk der spätgotischen Kapitäle, so dass das natürliche Vorbild nur noch in dem Charakter der einzelnen Umrisse und etwa durch die damit verbundenen Früchte kenntlich wird. Die Flächen knicken oft sehr kurz gegeneinander um oder scheinen selbst krankhaften Pflanzenerscheinungen nachgebildet, zeigen wie durch Verwelkung umgeworfene Ränder und Spitzen, vor allem aber jene kugeligen Erhöhungen und Vertiefungen, in deren Übertreibung man lange das eigentliche Wesen des gotischen Ornamentes erblickte. Ein derartiges, aber noch mässig gehaltenes Kapitäl von der, die Kanzel in St. Blasien in Mühlhausen tragenden Säule zeigt Fig. 522. Ein anderes den Kreuzpfeilern der Marienkirche daselbst entlehntes die Fig. 524, an welchem die Anordnung der Blattbüschel noch beibehalten ist und nur die Blätter diese übermässige Modellierung aufweisen. Dabei werden die Einschnitte zwischen den einzelnen Lappen der Blätter immer tiefer, wie man denn überhaupt die Wirkung der in diese Vertiefung geworfenen Schlagschatten zu suchen anfing und endlich dahin gelangte, den Vertiefungen eine gleiche Berechtigung zu geben, wie den eigentlichen Blattformen, indem man ihnen bestimmte, masswerkartige Formen zuteilte. Endlich wurde sogar diesen Formen zulieb die Bestimmtheit der eigentlichen Blattkonturen vernachlässigt, indem man die Spitzen von verschiedenen Blättern zusammenwachsen liess und so zwischen denselben Fischblasen oder vierpassartige Felder gewann, den eigentlichen Charakter des Blattes aber völlig verdunkelte. Fig. 523 zeigt ein derartiges Kapitäl.

Kapitälbildungen verschiedener Art.

Kapitäle mit geringer oder fehlender Ausladung.

An den eigentlichen Dienstkapitälen nimmt in gewissen Fällen aus den schon oben angezeigten Gründen die Ausladung ab, so dass die Ausbiegung des Kelchrandes sich verringert oder völlig wegfällt, der Körper des Kapitäles dem der Säule völlig entspricht und nur durch den Astragal von letzterer sich trennt. Dabei kann das Laubwerk noch in derselben Weise angeordnet sein als in den wirklich ausladenden Kapitälen und aus einer oder mehreren Reihen angesteckter Büschel bestehen. Derartige Kapitäle finden sich in der Wermutkammer von

Kloster Haina (Fig. 526). Eine andere Bildung zeigt das in Fig. 524 dargestellte Kapitäl aus Mühlhausen, an welchem der Grundriss der Säule sich oberhalb des Astragales im Kapitäle fortsetzt und unter einem kräftig ausladenden, achteckigen Abakus, Fig. 524a anläuft, in dessen Hohlkehle sich die Blattbüschel der oberen Reihe hineinlegen. Es verdecken dieselben in solcher Weise den Übergang in das Achteck und bilden zugleich eine Unterstützung für den Rand des Abakus. Die unteren dagegen sind mit ihren Stielen dem cylindrischen Kapitälkerne nur angelegt.

Eine Vergleichung der beiden letzteren Gestaltungen lässt die von Fig. 524 insofern als berechtigter erscheinen, als die oberen Blattbüschel noch einen wirklichen Zweck erfüllen, der in Fig. 526 wegfällt. Dennoch ist die Wirkung der letzteren eine günstigere, weil die frei vorspringenden Blätter der oberen Reihe für den fehlenden Keichrand einen, wenngleich nur scheinbaren, Ersatz gewähren, mithin der Wirkung der älteren Kapitälbildungen näher kommen.

Die eben angeführten einer Ausladung ihres eigentlichen Körpers ermangelnden Kapitäle sind am Platze, wo der Grundriss der Bogengliederung mit dem der Säule oder des Pfeilers übereinstimmt, wie das z. B. häufig hinsichtlich der Grundrisse des Fenstermasswerkes und der Pfosten stattfindet. In diesem Falle wird streng genommen auch der Abakus überflüssig und kann die Bezeichnung der Grundlinie des Bogens, um welche allein es sich noch handelt, durch das oberhalb des Astragales sich dem Säulenstamme anlegende Laubwerk allein bewirkt werden. Kapitäle dieser Art finden sich an den Fenstern des südlichen Seitenschiffes des Münsters in Freiburg in verschiedener Gestaltung (s. Fig. 525), ferner an denen der Kathedralen von Chalons und von Evreux. (Dict. d'arch. Tom. II. pag. 533.) Seltener finden sie sich an den Gewändesäulchen von Portalen, wie in St. Stephan in Mainz.

Kapitäle ohne Astragal.

An einzelnen Kapitälbildungen der späteren Perioden fällt der Astragal weg und wird entweder durch die sich verflechtenden Stengel ersetzt, wie in Fig. 522, oder es legen sich die einzelnen Blattpartien unmittelbar an den Stamm der Säule.

Kapitäle der letzteren Art finden sich häufig in jenen einfacheren Kirchen des XIV. und XV. Jahrhunderts, in welchen die achteckige Grundform des Pfeilers sich in den Schildbogen fortsetzt, und bestehen einfachsten Falles aus einer flachen nach oben durch eine Platte abgeschlossenen, nach unten in die Pfeilerfläche übergehenden Hohlkehle (s. Fig. 445), nehmen aber häufig auch den in Fig. 538 dargestellten Querschnitt an und können in beiden Fällen mit Laubwerk gefüllt oder glatt sein.

Die Ornamentierung solcher Kapitäle findet sich häufig durch Köpfe und zwar entweder naturalistisch gebildete oder mit Laubwerk verwachsene*), ferner ganze Figuren, Tierbildungen, angehängte Wappenschilder, Spruchbänder usw. bewirkt. Figürliche Gestaltungen oder Köpfe finden sich indes häufig auch als wirkliche Träger behandelt; zuweilen selbst, wie an dem schönen Brunnen in Nürnberg, ersetzen die Köpfe gewissermassen das Kapitäl. Ebenso, wie die Köpfe, sind auch die Tierbildungen oft mit Laubwerk verwoben oder ihre Schwänze laufen in Laubwerkbildungen aus. Besonders häufig kehrt die in dem Schlusssteine Fig. 233 gegebene Darstellung von zwei Tieren mit verschlungenen Hälsen auch an Kapitälen wieder. Wenn uns nun in vielen Fällen die Deutung dieser Bildungen nur durch mehr oder weniger gewagte Hypothesen

*) Laubköpfe, têtes de feuilles, nach Vilard de Honnecourt.

möglich ist, so geht es doch aus dem ganzen Charakter der mittelalterlichen Kunst sowohl wie aus der grossen Zahl von Beispielen, in welchen dieselbe völlig klar zu Tage gelegt ist, hervor, dass ein Sinn in allen Fällen zu Grunde lag, dass die an so vielen modernen Werken herrschende Sucht, figürliche Gestalten ohne irgend welche Beziehung nur um ihrer selbst willen, sogar in vielfacher Wiederholung anzubringen, der gotischen Kunst völlig fern liegt.

Als Beispiel eines Kapitäles mit figürlichem Schmucke mag die Figur 528 dienen aus der in der zweiten Hälfte des XIV. Jahrhunderts erbauten Kirche zu Gottsbüren bei Kassel. In der oberen Hohlkehle sind Köpfe angebracht, während die von dem Stamme des Dienstes herauskommende Figur einer betenden Nonne gewissermassen die Ausladung des darüber befindlichen Gesimsrandes stützt, so dass beide eben erwähnte Motive sich vereinigt finden.

Kapitäle ohne Ornament.

Die Notwendigkeit der Ersparnis oder das Streben nach Einfachheit hat zuweilen das völlige Fehlen jeden Ornamentes herbeigeführt. Kapitäle dieser Art finden sich in den Kathedralen von Dijon und Narbonne, in den Stiftskirchen von Kolmar nnd Treysa, in der Minoritenkirche zu Köln und vielen anderen Kirchen, vornehmlich der Bettelorden. Sie haben einfachsten Falles das gleiche Kelchprofil, so dass das Laubwerk nur weggelassen erscheint, wie die Figuren 502 und 529 aus Dijon und Treysa (letzteres bei runder Grundform) zeigen. Die glatten Flächen des Kelches wurden belebt durch Bemalung. So zeigen die Gewändesäulchen im Innern der Chorfenster der Wiesenkirche in Soest auf diesen Flächen ein hellgrünes Rankenwerk auf dunkelgrünem Grunde. Dass auch das plastische Ornament eine Belebung durch Farben erhielt, wird am betreffenden Orte näher erörtert werden.

Der am nächsten liegende Ersatz für das fehlende Ornament ergiebt sich aber durch gesteigerten Reichtum der Gliederung (siehe die Figuren 530 bis 534) oft in Verbindung mit der in Fig. 503 im Gegensatz zu Fig. 502 gezeigten Umgestaltung des Überganges aus dem Polygone in den Kreis.

Durchdringungen.

Das die späteren Perioden der gotischen Kunst kennzeichnende Streben nach künstlichen Durchdringungen erzeugte viele wechselvolle Kapitälbildungen. Das Grundmotiv ist die Durchdringung des Cylinders mit einem vierseitigen oder polygonalen, etwa nach Fig. 527 gebildeten Pfeilerkapitäle.

Schon aus dem Anfange des XIV. Jahrhunderts findet sich ein derartiges Kapitäl an dem südlichen Flügel des Kreuzganges vom Kloster Haina vor der jetzt nicht mehr vorhandenen Brunnenkapelle, s. Fig. 532. Der Pfeiler ist rund, der Bogenanfang aber nach dem übereck stehenden Quadrate gebildet, von welchem je zwei Seiten sich in den beiderseitigen Bogenprofilen fortsetzen. Den Übergang von dem Abakus *a* nach dem Cylinder bewirken die vier in letzteren dringenden Seitenflächen der Pyramide *b*, mit welchen sich unter den Ecken des Quadrates wieder die vier trichterförmigen Kragsteine *c* durchdringen. Die Seitenflächen der letzteren sind aber nicht glatt, sondern, wie der bei *d* eingezeichnete Grundriss zeigt, durch flache Hohlkehlen gegliedert und ihre unteren Spitzen auf die kleinen Laubbüschel *e* gesetzt.

Figur 533 stellt sich als die Durchdringung eines zu einem achteckigen Pfeiler gehörigen Kapitälkörpers mit dem cylindrischen Stamme dar, so dass das untere Achteck des Kapitäles in den Kreis des Cylinders einbeschrieben ist und die kleinen Spitzen die Übergänge bewirken. Das Kapitäl Fig. 534 ist nach einer sechsseitigen Grundform gebildet, die Übergänge der letzteren aber in den Cylinder sind unter den Astragal gerückt, so dass der kelchartige Körper nur eine Vergrösserung der Ausladung bewirkt. Den Grundriss siehe in Figur 534a. Der Übergang aus dem dem Kreise einbeschriebenen in das umschriebene Sechseck ist durch Gliederungen bewirkt, die mit dem Cylinder Durchdringungen bilden, die leicht konstruiert werden können. In der Figur 535 ist sodann der Übergang aus dem Kreise in das Achteck anstatt durch eine Gliederung durch eine einfache Fase bewirkt, die einen Teil der Mantelfläche eines Kegels bildet. Es entsteht

hierdurch die Durchdringung des Kegels mit dem achtseitigen Prisma; Figur 535a zeigt dieselbe in perspektivischer Ansicht.

In derselben Weise werden sich die Übergänge bilden lassen aus einer zusammengesetzteren Grundform in jede einfachere, also z. B. aus einem achteckigen Pfeiler in ein vierseitiges Kapitäl, oder aus jeder Grundform in die dazu übereck stehende und schliesslich freilich in unregelmässiger Weise überhaupt alle Übergänge aus einer Grundform in eine beliebige andere.

Prismatische Kapitälkörper u. dergl.

In Fig. 535, welche ein der Kirche zu Immenhausen zugehöriges Dienstkapitäl darstellt, ist jeder Anklang an die ursprüngliche Form der Kehle weggelassen und der Kelch durch ein kurzes achtseitiges Prisma ersetzt, dessen Flächen dann Gelegenheit zu reicherer Behandlung geben. Einfachsten Falles würden sich daraus zurückgesetzte Felder bilden lassen, deren Grund mit Blattwerk ausgefüllt sein könnte; oder aber diese Felder könnten eine mehr masswerkartige Bildung annehmen. Derartige reichere Gestaltungen finden sich seltener an wirklichen Diensten als an jenen kleineren, dem Auge nahe gerückten Säulchen, welche als Träger von Statuen, eines Gehäuses, einer Fiale, oder aber als Ausgangspunkte irgend einer Auskragung, wie etwa unter Kanzeln, Erkern usw. aufgestellt sind. Hier ist zuweilen das Masswerk sogar durchbrochen und innerhalb desselben wie in einem Käfige ein kapitälartiger Körper ausgebildet, wie Fig. 537 im Durchschnitte zeigt. Vgl. auch got. Musterbuch, 2. Aufl. Taf. 96.

Den Gestaltungen dieser Art sind ferner jene überaus reichen Kapitäle der Pfeiler des Domes in Mailand beizuzählen, die sich gleichfalls durch Einschiebung prismatischer Körper bilden, deren Seitenflächen aneinandergereihte, fialengeschiedene, mit Wimpergen gekrönte Bilderblenden darstellen, dabei aber die eigentlichen Gesetze der Kapitälbildung gerade durch ihre Pracht verhüllen.

Die Grundrissanordnung der Kapitäle an gegliederten Pfeilern.

Kapitäle an gegliederten Pfeilern der früheren Zeit.

An gegliederten Pfeilern erhält ein jeder Dienst sein besonderes Kapitäl mit selbständig ausgesprochener Grundform des Abakus.*) Das Zusammentreffen dieser verschiedenen Kapitäle richtet sich also nach der Grundrissbildung des Pfeilers und der der einzelnen Abaken, die sich ihrerseits wieder nach den daraufruhenden Bogen richten. Nach jener ältesten aus rechtwinkeligen Rücksprüngen gebildeten und in den Winkeln mit Diensten besetzten Pfeilergrundform zeigt auch der Kapitälgrundriss diese rechtwinkeligen Rücksprünge. Zuweilen werden die den Kreuzrippen unterstehenden Kapitälquadrate in der Richtung der Rippen übereck gestellt. Für eine gute Wirkung ist es wesentlich, die Einzelformen des Abakus unter einander und gegen den Pfeiler gut abzuwägen, da eine schickliche Gesamtform wichtiger ist als reiches Ornament.

Schon bei dem treppenförmigen Pfeilergrundrisse können häufig nicht sämtliche kleine Gliederungen in der Gesamtform des Kapitäles zum Ausdrucke kommen, ebenso endigen bei den durch Hohlkehlen verbundenen Diensten der älteren Periode die Kehlen in geeigneter Weise unterhalb der Kapitälplatte. In derselben Weise, wie die Abaken, wachsen auch die Eckblätter zusammen und zwar entweder so, dass ihre Endungen völlig verschwinden, wie Fig. 539 im Grundrisse

*) Ausnahmen hiervon, wie sie sich z. B. häufig an den Säulen der Portalgewände zeigen, werden am betreffenden Orte ihre Erklärung finden.

zeigt, oder dass zwei derartige Träger sich in ein und derselben Blattknolle vereinigen (s. Fig. 540).

Nur der Astragal zieht sich zuweilen in den Hohlkehlen herum, welche sich dann darüber hinaus fortsetzen und unter den Dienstkapitälen totlaufen, wie in derselben Figur angegeben.

Kapitäle an Rundpfeilern mit Diensten.

An den runden mit vier Diensten verbundenen Pfeilern erhält der Pfeilerkern ein Kapitäl, welches mit denen der Dienste zusammenschneidet. Das Pfeilerkapitäl hat mit dem Dienstkapitäle gleiche Ausladung, wie an den meisten deutschen Werken, oder eine grössere, wie in den älteren französischen Kathedralen. Die Ausladung wird kleiner, wenn der Pfeilerkern nur vom Abakus umzogen wird, wie an einzelnen westfälischen Kirchen (vgl. auch St. Jakobi zu Einbeck, Fig. 428).

In Deutschland bleibt das Pfeilerkapitäl in der Regel in der runden Grundform. Durch die lebendigen Vorsprünge der Dienstkapitäle wird es belebt, selbst dann, wenn auch die letzteren rund bleiben (siehe Pfeiler zu Wetter Fig. 427 und 510).

Indes wird auch hier die Wirkung günstiger, wenn die Dienstkapitäle einer polygonalen Grundform folgen, wie überhaupt die Verbindung von Polygonmit Kreisteilen eine sehr glückliche ist, und zwar gerade durch den Gegensatz der kurzgebrochenen Polygonseiten zu der grösseren Schwingung des Kreises. Es findet sich dieses schon an dem aus der zweiten Hälfte des XIII. Jahrhunderts stammenden Schiffe der Kirche zu Haina, der etwa gleich alten Kathedrale von Dijon und der Minoritenkirche zu Höxter (vgl. Fig. 427 rechts und 429).

Ebenso kann aber auch das Pfeilerkapitäl eine polygonale Gestalt annehmen und mit polygonalen Dienstkapitälen sich verbinden. Sehr günstig wirken in dieser Hinsicht die Pfeilerkapitäle in der Kathedrale zu Reims, wo der Kern des Pfeilers ein nach dem übereck stehenden Quadrate gebildetes Kapitäl trägt, dessen Ecken mit den vier achteckigen Dienstkapitälen verwachsen.

Kapitäle an gegliederten Pfeilern der späteren Zeit.

Auf den gegliederten Pfeilern der mittleren und späteren Periode findet in der Regel nur eine geringe, zuweilen gar keine Ausladung des Bogengrundrisses und demgemäss auch nur eine geringe Kapitälausladung statt. Da nun zugleich im Grundrisse das Verhältnis der Weiten der Hohlkehlen zu den Durchmessern der Dienste zugenommen hat, so ist das Auslaufen der Hohlkehlen unter den Dienstkapitälen nicht mehr möglich. Es folgt demnach das Kapitäl thunlichst dem ganzen Pfeilergrundrisse, indem es auch die Linie der Hohlkehlen durch konzentrische Bogen begleitet. Ein Beispiel dieser Art zeigt die Figur 438. Da, wo die in der Pfeilergliederung enthaltenen Hohlkehlen sich in wenig oder gar nicht veränderter Gestalt in der Bogengliederung fortsetzen, wird jede grössere Kapitälausladung in denselben überflüssig und es kann sonach das darin herumlaufende Kapitäl die Ausladung des Kelches sowohl wie das daran befindliche Laubwerk entbehren.

Bei völliger Übereinstimmung der Hohlkehlen des Pfeilers mit denen des Bogens wird aber das Kapitäl in den ersteren überhaupt überflüssig und es ergiebt sich die von der Mitte des XIV. Jahrhunderts an häufige Anordnung, wonach nur

die Dienste mit Kapitälen versehen sind, welche sich dann in den sich unverändert im Bogen festsetzenden Hohlkehlen in wagerechter Richtung totlaufen.

Dadurch bildet sich schon der Übergang zu den kapitällosen Pfeilern.

Aufriss der Kapitäle an gegliederten Pfeilern.

Verschiedene Höhenlage der Kapitäle.

Im allgemeinen kann die Regel gelten, dass die Kapitäle mit ihrer Oberkante die Grundlinie des Bogens bezeichnen. Die Befolgung derselben führt daher bei einem Bündel von Diensten oder Säulchen überall da auf eine ungleiche Höhenlage der Dienstkapitäle, wo die Grundlinien der Bogen in ungleicher Höhe liegen. Beispiele dafür ergeben sich in Fenstermasswerken, wenn die Grundlinie des Masswerkes unter die des Bogens fällt. Sie ergeben sich aber mit noch grösserer Notwendigkeit an Gewölbejochen von stark abweichenden Seitenlängen, zunächst schon an dem Gewölbe eines jeden Chorpolygones, sobald für jede Rippe ein besonderer Dienst angeordnet ist. Wenn hier der Schildbogen mit der Kreuzrippe auf einer Grundlinie beginnen sollte, so würde, wie schon früher erwähnt, der Scheitel desselben entweder sehr weit unter dem Gewölbescheitel liegen oder seine Form übermässig spitz werden müssen. Beides wird vermieden durch Erhöhung der Grundlinie des minder weit gespannten Bogens, mithin auch nach obiger Regel des Kapitäles des demselben unterstehenden Dienstes.

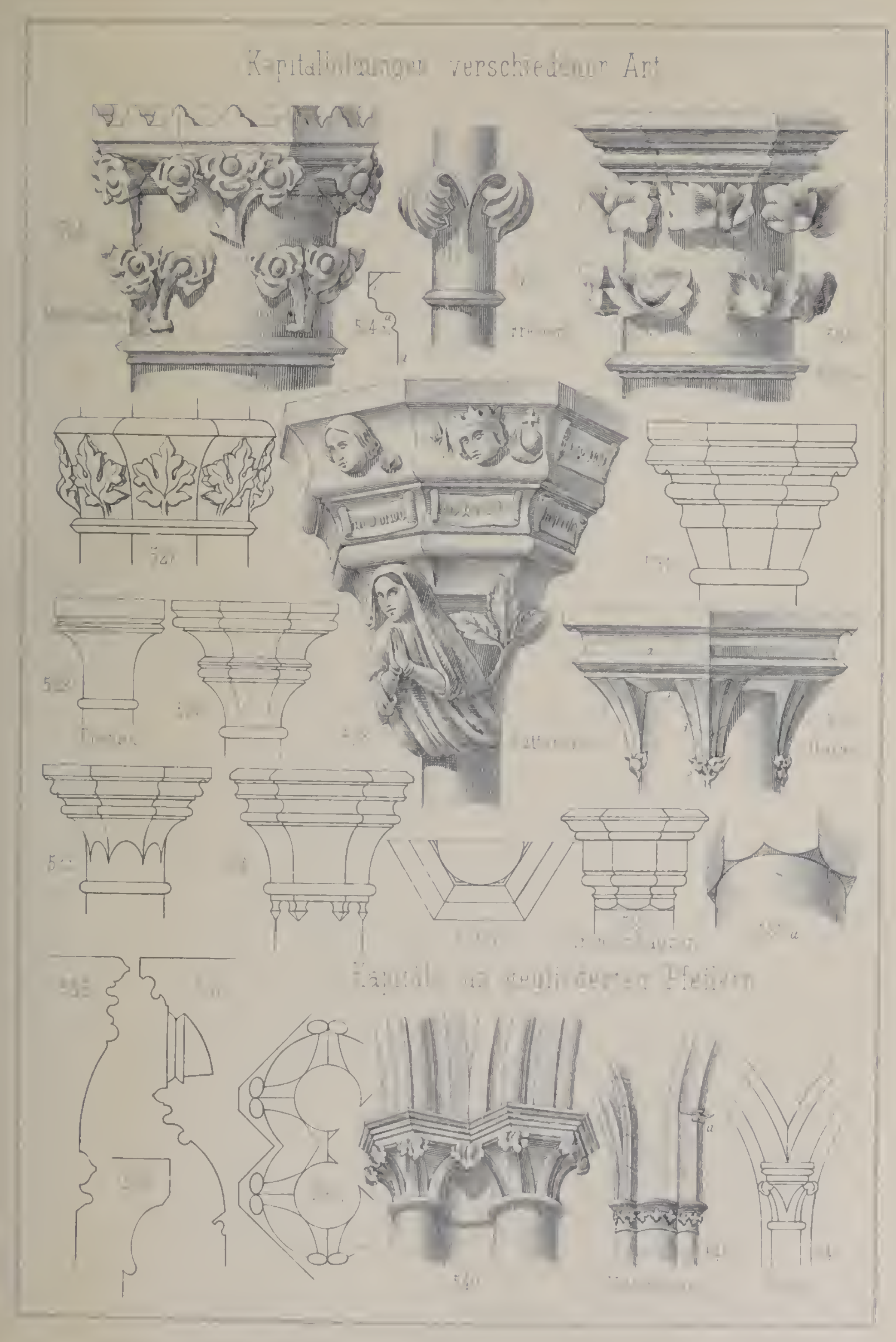
Durch diese ungleichen Höhen der Kapitäle wird die lebendige Wirkung des Ganzen gesteigert, zumal wenn die Kapitäle der verschiedenen Pfosten des zwischen den Schildbogendiensten liegenden Fensters wieder in eine abweichende, durch die Masswerkbildung bedingte Höhe fallen.

Aufsetzen einzelner Bogen.

Es kann für sämtliche Dienste dieselbe Kapitälhöhe behauptet werden durch ein entsprechendes Aufstelzen der minder weit gespannten Bogen. Wenn aber Kreuzrippen und Schildbogen auf einem gemeinsamen Dienste sitzen, so kann auch das Aufstelzen vermieden werden durch schwächere, auf das Kapitäl gesetzte Dienste für die Schildbogen, wie z. B. am Chore der Minoritenkirche in Duisburg.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich an den Kapitälen freistehender Pfeiler bei ungleichen Seitenlängen der Joche. So wird bei einem runden, mit vier Diensten verbundenen, zwei gleichhohe Schiffe scheidenden Pfeiler das Kapitäl des die Gurtrippe tragenden Dienstes, dessen Höhenlage eben durch die Grundlinie der Rippe bestimmt ist, einfachsten Falles den ganzen Pfeiler umziehen, dabei können nötigen Falles die minder weit gespannten Scheidebogen aufgestelzt werden. Dagegen würde, wenn der Pfeilerkern nur den Scheidebogen unterstände, das Kapitäl derselben auch in die Grundlinie des Scheidebogens, mithin höher gerückt werden können als das Kapitäl des die Gurt- und Kreuzrippen tragenden Dienstes. Es würde dann das höher liegende Pfeilerkapitäl an die in der Fortführung der lotrechten Fläche des Rippenprofiles liegende Kappenflucht anschneiden. Noch leichter würde sich eine Anordnung letzterer Art bei dem in Fig. 426 dargestellten Pfeilergrundrisse treffen lassen.

Eine Vermittelung beider Systeme findet sich an den mit vier Diensten verbundenen Rundpfeilern von St. Blasien in Mühlhausen. Hier umzieht das in der Höhe der Grundlinie der


Kapitälbildungen verschiedener Art
Kapitäle an gegliederten Pfeilern



Kreuz- und Gurtrippen befindliche laubwerkverzierte Kapitäl den ganzen Pfeiler und auf demselben setzt sich mit einem einfach profilierten Grundrisse der Scheidebogen in der Weise auf, dass die untere Endung des Profiles auf den Dienst zu stehen kommt, wie Fig. 541 in perspektivischer Ansicht zeigt. Der Scheidebogen ist hoch aufgestelzt, die Höhe seiner wirklichen Grundlinie aber durch ein wenig ausladendes und sich in die Hohlkehle des Scheidebogenprofiles einschneidendes Gesims *a* angezeigt, so dass sich dem eigentlichen Pfeilerkapitäle ein zweiter niedriger Pfeiler, der den Scheidebogen trägt, aufsetzt.

Getrennte Dienst-kapitäle.

Die ungleiche Höhenanordnung der Kapitäle tritt noch mehr hervor bei jenen mit überwiegenden Hohlkehlen gegliederten Pfeilern der späteren Perioden, an welchen nur die Dienste mit Kapitälen versehen sind, wie sie sich in besonders reicher Gestaltung im Chore von St. Ouen in Rouen finden. Hier steigt eben ein jeder der Dienste, welche in ihrer durch die Hohlkehlen bewirkten Vereinigung die Pfeilerkörper bilden, unbekümmert um den nächsten soweit, als es die Grundlinie des Bogens verlangt, und trägt dann sein besonderes Kapitäl. Wir haben hier nicht nur ungleiche Höhenlage, sondern selbst ungleiche Höhen der einzelnen Kapitäle, mithin Auflösung jeder Selbständigkeit des Pfeilers und den Übergang zu den kapitällosen Pfeilern.

Von der oben angegebenen Regel, dass die Grundlinie des Bogens die Lage des Kapitäles bestimmt, findet sich ausser der durch die aufgestelzten Bogen gebildeten Ausnahme noch eine zweite, welche darin besteht, dass die Kapitäle gewissermassen aus der Höhe des Bogens genommen sind, indem der Bogen mit der Unterkante in den Astragal rückt. Es kann dieses Herabrücken des Bogens für weit gespannte Rippen bei geringer Konstruktionshöhe von Wert sein. Am deutlichsten findet sich dieses ausgesprochen in den kleineren Bogenstellungen von Notredame zu Dijon (s. Fig. 542) an den Fenstern, Triforien usw., wo die über der lichten Öffnung gespannten Bogenlinien volle Spitzbogen sind, während die konzentrischen, durch den sich im Bogen unverändert fortsetzenden Grundriss des Säulchens gebildeten, sich als gebrochene, auf dem Kapitäle aufsitzende Bogen darstellen. Die ganze Gestaltung, welche ihrem Wesen nach mit der in Fig. 273 gezeigten Umbildung des Bogenanfanges übereinstimmt, gewährt den Nutzen, dass erstlich das Zusammenschneiden der Rundstäbe vermieden wird und zweitens das Säulchen schlanker wird. Eine Anwendung auf einen aus mehreren Säulchen gegliederten Pfeiler würde auf eine ungleiche Höhenanordnung der Kapitäle an demselben führen können.

Kapitälhöhe und Werk-steinhöhe.

Bestimmte Regeln über die Kapitälhöhe im Vergleiche zu dem Säulendurchmesser, über die Ausladung, sowie über die Grösse der einzelnen Teile zu einander giebt es nicht. Ein durch das Studium der alten Werke geschärftes Auge in Verbindung mit der genauesten Auffassung der jeweiligen Verhältnisse kann allein im gegebenen Falle das Richtige treffen. Eine stärkere Säule würde ein höheres Kapitäl verlangen, als ein schwächerer Dienst. Da unter gewöhnlichen Verhältnissen das Kapitäl entweder mit dem Abakus oder ohne denselben aus einer Schicht genommen wird, kann die Beschaffenheit und Grösse des Materiales gewisse Grenzen ziehen. Die Ausführung aus ein und demselben Werkstücke schreibt daher an einem gegliederten Pfeiler zunächst ein und dieselbe Kapitälhöhe für sämtliche Dienste und Zwischenglieder ohne Berücksichtigung ihrer verschiedenen Stärken vor, so dass also bei einem mit vier Diensten verbundenen Rundpfeiler das Kapitäl der Dienste in unveränderter Höhe um den Pfeilerkern sich fortsetzt, wie in Fig. 510 angegeben ist.

Wenn nun aussergewöhnliche Grössenverhältnisse des Ganzen die durch eine Schicht zu erzielende Kapitälhöhe nicht ausreichend erscheinen lassen und die

Bildung des Kapitäles aus zwei aufeinanderliegenden Schichten veranlassen, so ist uns doch in Deutschland kein Beispiel bekannt, wo die Fugenteilung sich in der Kapitälbildung ausspräche. An einzelnen französischen Werken finden sich dagegen hierdurch bewirkte eigenartige Gestaltungen. Indem man nämlich die Notwendigkeit der grösseren Kapitälhöhe nur auf den Pfeilerkern bezog, wurde die untere Schicht nur für letzteren zum Kapitäle hinzugezogen, während das Kapitäl für die Dienste allein aus der oberen Schicht bestand, wie in der Kathedrale von Amiens. In Reims dagegen findet sich unter dem oberen Dienstkapitäle ein zweites wenig ausladendes aus der unteren Schicht gebildet.

Im Gegensatze zu der Bildung des den Pfeiler umziehenden Kapitäles aus einem oder zwei aufeinander gelegten Werkstücken müssen wir nochmals auf die den älteren westfälischen Werken eigentümliche Anordnung zurückkommen, wonach nur für die Dienste Kapitäle angeordnet sind, deren Abakus aber den runden Pfeiler konzentrisch umzieht. Es hat diese Anordnung ihren Ursprung in einer aus kleinerem Materiale geschehenden Ausführung des Pfeilers, welchem dann die aus grösseren Werkstücken gebildeten Kapitäle eingebunden sind, so dass die Pfeiler der Vereinigung durch ein einheitliches Kapitäl ermangeln.

3. Die Sockel der Säulen und Pfeiler.

Beziehung zw. Kapitäl und Sockel.

Der Sockel hat die Bestimmung, den Pfeiler in das Fundament hinüberzuleiten, mithin eine Erweiterung der Grundfläche und einen Übergang aus der komplizierteren und kleineren Grundform des ersteren in die viereckige und grössere des letzteren zu vermitteln. Es haben demnach die Sockel mit den Kapitälen die Bildung der Ausladung und des Überganges gemein. Statisch genommen hat eine Ausladung am Kapitäle und Sockel gleichen Bedingungen zu genügen. Da bei einem ruhenden Körper alle Kräfte paarweise auftreten, setzt sich in jedem Querschnitte der Stütze dem Gewicht des oberen Teiles ein ebenso grosser Gegendruck des unteren Teiles entgegen. Liegt eine Ausladung vor, d. h. soll der Druck auf eine grössere Fläche übertragen werden, so ist es unter dem Wirken dieser Kraftpaare ganz gleich, ob die Ausladung nach oben gekehrt ist (Kapitäl) oder nach unten (Basis).

Da wo Kapitäl und Basis unter gleichen Bedingungen stehen, d. h. wo sie einen ganz bestimmten Druck auf eine Ausladung von bestimmter Form und Grösse zu übertragen haben, kann es demnach berechtigt sein, sie genau gleich auszubilden, was ja auch vereinzelt in der romanischen Zeit und häufiger in der Spätgotik geschehen ist.

In der Regel aber sind die Bedingungen für Kapitäl und Basis nicht ganz gleich, vielmehr die ihnen zufallenden Aufgaben in mehr als einem Punkte verschieden, so dass auch eine abweichende architektonische Behandlung beider geboten ist.

Zunächst besteht das Fundament aus weniger festem Materiale als die über dem Kapitäle ruhenden Teile.

Sodann pflegen sich auf das Kapitäl mannigfaltig geteilte Gliederungen zu setzen, während es bei der Basis nur darauf ankommt, eine grössere „einfache" Grundfläche zu gewinnen.

Frei vorspringende zierliche Glieder, die beim Kapitäle am Platze sind, müssen bei dem Sockel meist aus Zweckmässigkeitsgründen gemieden werden.

Das Kapitäl pflegt vom Beschauer unter einem spitzeren Winkel gesehen zu werden als die Basis.

Schliesslich wirkt ein selbständiger Pfeiler schon so sehr als Einzelgebilde, dass sein oberer Abschluss nicht allein das Tragen, sondern auch das Bekrönen auszusprechen hat.

All diesen Forderungen wird das Mittelalter je nach Lage der Verhältnisse in der vielfältigsten Weise gerecht; gerade Kapitäl und Sockel zeugen in hohem Masse von dem feinen stilistischen Gefühle, das alle besseren Werke des Mittelalters durchdringt. Die Gotik kennt keine fertige Säule, die gleich dem gedrechselten Holze eines Kinderbaukastens je nach Belieben bald hier bald dort verwandt wird: sie schafft vielmehr für jeden Platz eine dorthin gehörige Stütze.

In der antiken Kunst hatte sich die attische Basis allgemeine Geltung verschafft, sie besteht aus der unübertrefflich schönen Gliederfolge von zwei durch eine Hohlkehle geschiedenen Wulsten und schliesst unten mit einer dünnen quadratischen Platte ab. Wenn die Römer die Säule auf ein Postament setzten, so verwuchs dieses nicht mit der Basis, sondern blieb ein selbständiger Untersatz. Die Basis war wie die Säule selbst eine nur wenig abgewandelte Kunstform, die trotzdem befriedigte, weil sie ein „leichtes" Stützen aussprach und auch thatsächlich nur mit einem verschwindend kleinen Bruchteile ihrer Festigkeit beansprucht wurde. Die moderne Verwertung der antiken Säulen für starke Oberlasten wirkt stets verletzend — denn zu diesem Zwecke ist jene Säule nicht geschaffen.

Die erforderliche Umgestaltung der Basis, die sich schon in der altchristlichen Zeit anbahnt und in romanischer Zeit fortsetzt, tritt bei den von antiken Überlieferungen losgelösten Werken am entschiedensten hervor und spricht sich selbst in unbeholfen gezeichneten Gliederungen deutlich aus. Man vergl. die Basis 543b mit 543a. An zwei Stellen musste die Umbildung ansetzen, die Gliederungen mussten zunächst die Grösse der Last und ihre Ausbreitung klarer aussprechen, wozu besonders der untere Wulst berufen war, sodann erwies sich die dünne quadratische Platte mit den weit vorspringenden unbelasteten Ecken als statisch und ästhetisch unmöglich. Dass man die nach Bedarf zugefügten höheren Socke organisch mit der Basis zusammenzog, war bei der mittelalterlichen Schaffensl weise selbstverständlich.

Gliederung der Basis.

Betrachten wir zunächst die Sockelbildung der einheitlichen Säule oder des einzelnen Dienstes, so ist hier, wie beim Kelche des Kapitäles, der nächste Zweck eine Erweiterung der Grundform, welche durch die den Kreis der Säule konzentrisch umziehende Sockelgliederung, die eigentliche Basis, bewirkt wird.

An manchen älteren Werken ist die Basis noch fast dem Typus der attischen entsprechend; so an den runden Sockeln im Chore der Kirche zu Volkmarsen (Fig. 543). Dem Begriffe der Ausbreitung des Druckes von oben nach unten widerstrebte aber die Bildung der Wulste nach einem Halbkreise, welche eine nach oben und unten gleiche Funktion dieser Glieder aussprach. Sowie nun schon die Griechen teils von der reinen Kreislinie abgegangen, teils dieses Verhältnis durch den nach b in Fig. 543 a statt nach a gelegten Abschnitt des torus ausgesprochen hatten, so fand in der gotischen Kunst die Ausbreitung des Druckes eine noch kräftigere Betonung durch die bevorzugte Grösse und völlig von der Kreislinie abweichende Bildung des unteren Wulstes. Bei steilen Basen gewinnt der Wulst die Form von Fig. 544, bei flachen diejenige von 545 und 546 (aus der Kloster-

kirche zu Walkenried) oder von 547 (Rundpfeiler von Notredame in Dijon). Die Gestaltung dieser Linie ist aber von einer endlosen Mannigfaltigkeit und bewegt sich etwa zwischen den aus den Figuren 547 und 548 ersichtlichen Grenzen.

Der obere Wulst, der in Fig. 543 noch durch ein Plättchen vom Stamme der Säule sich schied, setzt sich dann unmittelbar an denselben und zwar in einer auf die Länge *a b* Fig. 547 geschehenen Fortführung seiner Bogenlinie, wodurch also eine Senkung entsteht, von welcher aus sich zuweilen wieder eine Fase nach dem Stamme erhebt. Häufig nimmt der obere Wulst auch die Gestalt einer abgeplatteten oder selbst in der Mitte eingedrückten Kurve an, wie das in Fig. 548 dargestellte Sockelprofil der Kirche zu Mantes zeigt. Beide Wulste sind wie in der römisch-attischen Basis durch eine tief eingeschnittene Kehle geschieden, die sich entweder wie in den Figuren 546 bis 548 mit kleinen kantigen Gliedern an dieselben setzt, oder aber wie in Fig. 551 unmittelbar daran schneidet. Der untere Rand *a* der Kehle bleibt entweder wie in Fig. 548 in der durch den äussersten Punkt des oberen Wulstes gezogenen Senkrechten liegen oder tritt darüber hinaus. Ebenso kann der tiefste Punkt der Kehle entweder in der Höhe *c* (Fig. 547) liegen oder sich darunter senken. Es ist überhaupt die Linie der Kehle selbst sehr wechselnd und ihr Zweck vorwiegend in der Erzeugung eines tiefen Schattens zu suchen. Sie hat also im Gegensatze zu den weichen Schattierungen der flachen Wulstprofile die Wirkung der Gliederung zu beleben.

Eine bestimmte Konstruktion derartiger Profile ist wie in allen ähnlichen Fällen unmöglich. Was zunächst das Verhältnis der Höhe zur Ausladung betrifft, so verhalten sich beide zuweilen gleich, bald überwiegt die erstere um ein geringes, bald die letztere. Basen, die oberhalb der Augenhöhe des Beobachters liegen, pflegen schon in romanischer Zeit steiler zu sein (Fig. 543 *b* und 544) als tiefer gelegene. Für das Verhältnis der einzelnen Glieder zu einander dürfte charakteristisch sein, dass der untere Wulst mindestens die halbe Höhe der ganzen Gliederung einnimmt. In den Figuren 549 und 550 versuchen wir durch die in den Hülfslinien angedeuteten Konstruktionen nur einige allgemeine Anhaltspunkte zu geben.

Aus einer Vereinfachung der eben dargestellten Profilbildungen entwickeln sich diejenigen der mittleren und späteren Periode, indem man entweder den oberen Wulst wegliess oder die Hohlkehle, deren Grösse ohnehin abgenommen und die durch Wegfall der Leisten ihre Bestimmtheit verloren hatte. Auf letzterem Wege gelangte man von Fig. 550 durch 551 nach 552, auf ersterem nach Erweiterung der Hohlkehle und Verkleinerung des unteren Wulstes durch 553 nach 554 bis 556. Das Fortlassen der Hohlkehle findet sich in der Bossenform schon an den Gewändesäulchen eines aus der Mitte des XIII. Jahrhunderts stammenden Portales im südlichen Kreuzflügel des Domes zu Mainz, sodann völlig ausgebildet aus dem Ende desselben Jahrhunderts in den Schiffspfeilern der Kirche zu Haina. Das Unterdrücken des oberen Wulstes findet sich aus dem Anfange des XIV. Jahrhunderts in der Minoritenkirche in Soest und geht dann durch Weglassung des Wulstes in die magere, z. B. im Frankfurter Dom vorkommende Form von Fig. 556 über.

Die Basis ist stets mit dem darunter liegenden Teil des Sockels aus einem

Werkstücke gearbeitet. Aus der niedrigen Platte der frühen romanischen Säule wird bald ein höherer prismatischer Körper.

Höhenteilung und Gliederung des Sockels.

Die Höhenverhältnisse des Sockels sind ebenso wie seine Ausladung durchaus biegsam. Es kommen ebensowohl dünne Platten vor wie Sockel von 90 cm Höhe, meist liegt die Gesamthöhe zwischen 30 und 60 cm. Die gebräuchliche Höhe erfordert nach dem gewöhnlichen Masse der Werkstücke zwei Schichten, und diese Zweiteiligkeit findet ihren Ausdruck in einem Vorsprunge der unteren Schicht, welcher durch eine Schräge, eine Hohlkehle oder durch eine zusammengesetztere Gliederung bewirkt wird. Diese Zweiteiligkeit wird sodann für die reicheren Sockelbildungen beinahe typisch selbst da, wo der ganze Sockel aus einem Werkstücke besteht, sogar an den kleinen Säulchen der Fensterpfosten und Gewände.

Gegen die den Rand des oberen Werkstückes bildende, flache Basis pflegt die Gliederung des unteren Werkstückes durch ihre steile Richtung in Gegensatz zu treten und so dem Umrisse des ganzen Sockels ein entschiedenes Gepräge zu geben. Sie besteht aus einer Fase oder einer Hohlkehle, die sich durch Plättchen, Fasen oder Verrundungen an die beiden Sockelabteilungen setzt. Da sie hauptsächlich in der Aufsicht gesehen wird, so muss ihre Wirkung gewinnen durch eine schärfere Scheidung des oberen Rundstabes von dem Sockelkörper, eine Senkung unter den wagerechten Ansatz, wie bei *a'* in Fig. 548. Die Figuren 548, 558, 564 und 565 geben verschiedene Beispiele derselben.

In der späteren Zeit der gotischen Kunst kommt es vor, dass die beiden Sockelgliederungen überein gebildet sind oder dass selbst die untere flacher gebildet ist als die obere.

Von den beiden Sockelabteilungen ist in der Regel die obere höher, doch kommt auch das Gegenteil vor. Letzteres führt zu einer immer geringeren Höhe der oberen Abteilung und schliesslich zu einer Zusammenziehung beider Gliederungen. Für die französichen Werke des XIV. und XV. Jahrhunderts ist die aus der Vereinfachung beider Sockelgliederungen sich ergebende Gestaltung von Fig. 557 charakteristisch und kehrt mit einer ermüdenden Gleichmässigkeit wieder.

Vierkantige Sockel.

Für den eigentlichen Körper des Sockels ist wie für den Abakus des Kapitäles zunächst die viereckige Grundform durch dieselben Gründe angezeigt. Ja, sie liegt noch näher als dort, da sie schon durch die Form der Fundamente gegeben ist. Der oberen Fläche dieses Viereckes legt sich dann die runde Basis auf und zwar zunächst so, dass der äusserste Kreis der Basis in jenes Viereck einbeschrieben ist. Die hiernach in der horizontalen Fläche liegen bleibenden vier Dreiecke waren schon in der romanischen Kunst aus statischen und ästhetischen Rücksichten durch die mit äusserster Mannigfaltigkeit gebildeten Eckblätter gedeckt worden. Die Eckblätter setzen sich dann durch das XIII. Jahrhundert fort, in Frankreich sowohl wie in Deutschland, z. B. in St. Blasien in Mühlhausen, im Schiffe des Freiburger Domes, selbst noch an den Säulen des Lettners im Dome zu Lübeck (s. Fig. 562). Anfangs finden sie sich noch in jener, dem romanischen Stile eigenen, überreichen Mannigfaltigkeit, (vgl. die häufig

wiederkehrenden Formen Fig. 559 und 560), dann nehmen sie eine oft wiederkehrende kräftig geschwungene Blattform (Fig. 561) an. Die Figur 558 zeigt die Eckblätter an den Pfeilersockeln der Kathedrale von Rouen.

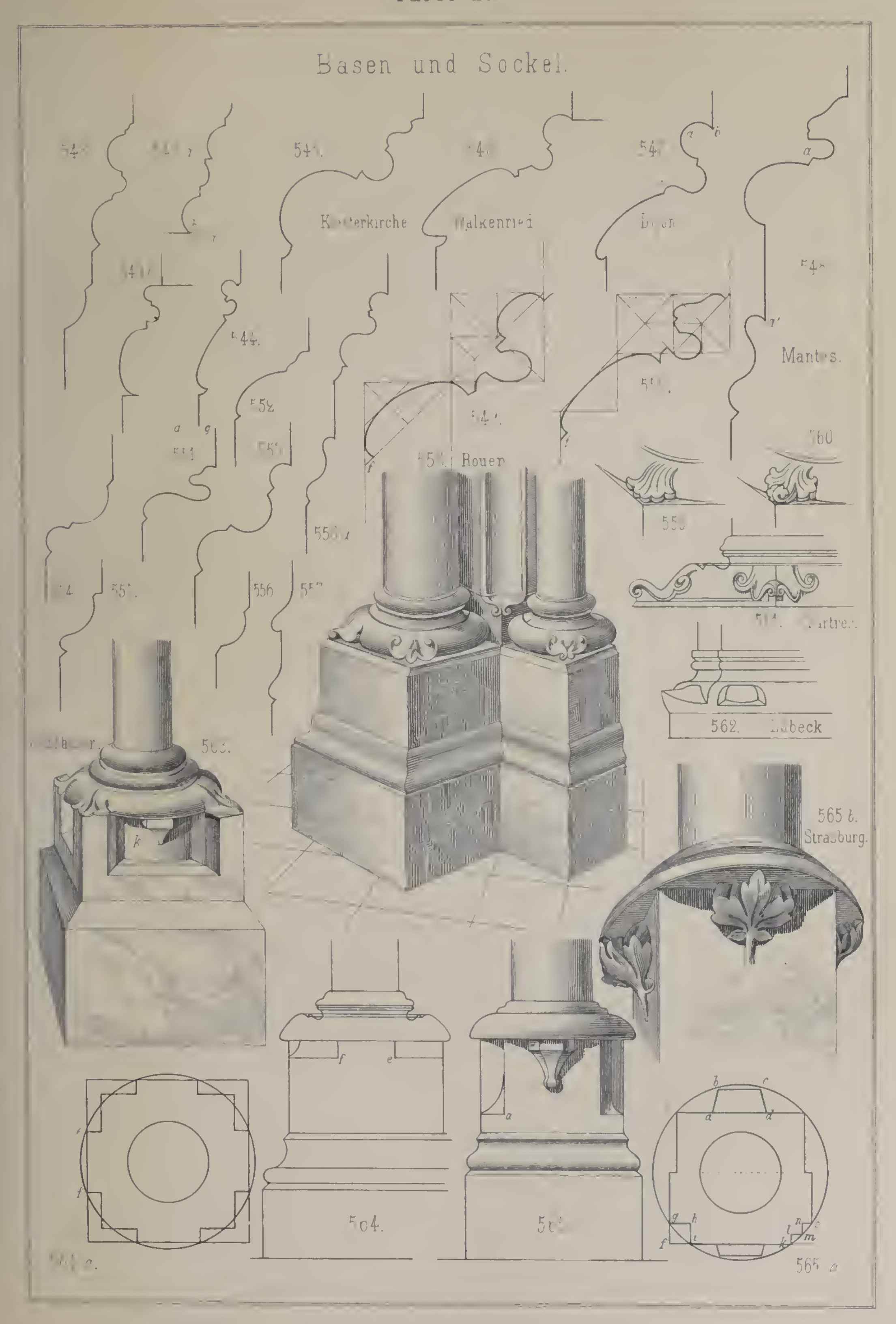
Weil aber ein solches Blatt die liegenbleibende Fläche doch nicht mit geometrischer Genauigkeit decken konnte, so suchte die gotische Kunst noch andere Wege. Man machte eine Abfasung des oberen Randes des viereckigen Sockels. Diese in den Figuren 549 und 550 mit *f* bezeichnete Fase läuft dann unter dem Wulste der Basis durch, so dass der letztere in der Mitte der Seite des Quadrates über die Fase ausladet. Durch eine Vergrösserung dieser Fase, welche dann häufig in eine Hohlkehle übergeht, war aber ein Mittel gegeben, die wagerechte Dreiecksfläche zu beseitigen, oder doch einzuschränken und somit die Deckblätter wegzulassen. Von den gleichzeitigen Basen 545 und 546 hat erstere ein Eckblatt, die zweite nicht.

Durch die erwähnte Vergrösserung dieser Abfasung wächst aber in gleichem Verhältnisse der Vorsprung des Wulstes und somit die Möglichkeit einer Beschädigung desselben. Es wird deshalb diese Gliederung vielfach nicht über die ganze Vierecksseite, sondern etwa nur über ein Drittel derselben, bis nach *e* und *f* in Fig. 564, hinweggeführt, so dass zwischen *e* und *f* die lotrechte Fläche stehen bleibt und unter den Wulst dringt. Die ganze Anordnung gestaltet sich vorteilhafter, wenn der Kreis des Wulstes über den viereckigen Körper des Sockels um ein geringes ausladet, wie in Fig. 564 angenommen ist.

Die Ausladung der Basis kann soweit gehen, dass das Quadrat des Sockelkörpers in den äussersten Kreis der Basis beschrieben ist, wonach dann der Rand des Wulstes über einer jeden Seitenfläche des Sockels eine Ausladung bildet, welche in der Mitte wieder eine besondere Unterstützung erforderlich macht. Die letztere wird erzielt durch eine aus der Masse des Sockelkörpers stehenbleibende Auskragung, welche in der Regel nach einem irregulären Polygonteile gebildet, eine mehr in die Breite gehende Grundform erhält, wie *a b c d* in der oberen Hälfte von Fig. 565a zeigt. Hiernach bildet nur noch der Teil *a b e* des Wulstes eine frei vortretende, nach unten durch eine wagerechte Fläche abschliessende Ausladung.

Wenn die Basis weniger weit ausladet, so tritt das Sockelquadrat auf den Ecken über den Kreis der Basis hinaus, wie bei *f* in dem unteren linken Viertel von Fig. 565a angegeben ist. Diese vortretenden Ecken des Sockelkörpers aber werden dann unter der Basis etwa nach *g h i* oder nach *k l m n o* in dem rechten unteren Viertel derselben Figur gebrochen und weiter unten in ihre ursprüngliche Form zurückgeführt, so dass der Sockel die in Fig. 565 im Aufrisse dargestellte Gestaltung erhält. Ebensowohl können die erwähnten Auskragungen mit der in Fig. 564 dargestellten, die Kante des Sockels brechenden wagerechten Gliederung in Verbindung gebracht werden. Derartige Sockel finden sich in der Kirche zu Colmar. Die erwähnten Kragsteine unter dem Rande der Basis erhalten in der Regel eine einfache Gestaltung. Die in den Figuren 565 und 563 gegebene ist beinahe typisch dafür. An der Thomaskirche in Strassburg, sowie an einzelnen Pfeilern des Münsters finden sie sich durch Blätter ersetzt, s. Fig. 565b.

Eine eigentümlich reiche, die meisten seither angeführten Gestaltungen zusammenfassende


Basen und Sockel.
Rouen
Mantes.
560
562.
565 b.
Strasburg.
564.



Sockelbildung findet sich in der Kirche zu Gelnhausen (Fig. 563). Hier tritt der Kreis der Basis um ein geringes über die Mitte der Seiten des Sockelquadrates. Letzteres aber ist durch eine Vertiefung gegliedert, innerhalb welcher ein sich unter den Kreis der Basis setzender, nach einem Vierbogen im Grundrisse gebildeter Sockelkörper sichtbar wird.

Es bildet sonach das oben unterhalb der Basis abgeschnittene Gewände dieser Vertiefung einen Vorsprung von dem Kreise der Basis, welcher durch die Eckblätter gedeckt wird. Die Wirkung der ganzen Gestaltung ist eine äusserst lebendige durch die verschiedenartigen Schlagschatten, sie ist aber ferner dadurch von Interesse, dass sie sich als eine Durchdringung darstellt, von der vierseitigen Sockelbildung mit der in den benachbarten hessischen und westfälischen frühgotischen Werken vorherrschenden, runden Gestaltung.

Durch den in den Figuren 565 und 565a angegebenen Vorsprung der Basis über die Flächen des Sockelkörpers ergiebt sich zugleich die Begründung der zweiteiligen Bildung auch für diejenigen kleineren Sockel, welche nur aus einem Werkstücke bestehen, aus der notwendig gewordenen Grösse dieses letzteren. Es spricht sich das nirgends deutlicher aus als an den aus zwei Schichten genommenen und demnach zweiteiligen Sockeln der Kapelle in Paris, an welcher der obere Sockelkörper mit Rücksicht auf jenen Vorsprung oberhalb der Fuge durch einen Wasserschlag sich erweitert, so dass der ganze Sockel eigentlich dreiteilig wird.

Anstatt der in Fig. 565 angegebenen kantigen Ausschnitte auf den Ecken können dieselben auch gefast sein, wobei immer der Charakter der quadratischen Grundform noch durch das bei *a* in Fig. 565 angegebene Zurückgehen in dieselbe gewahrt bleibt. Überhaupt ist die viereckige Grundform für alle der menschlichen Berührung entrückte Sockel, wie an den Säulchen der Fenstergewände, Pfosten usw. angemessen.

Vieleckiger Sockel.

Für die auf dem Fussboden stehenden Sockel aber hat die viereckige Grundform gewisse Nachteile in ihrem Gefolge, insofern sie durch die weite Ausladung der Ecken eine grosse Grundfläche unzugänglich macht und an den rechtwinkeligen Kanten leicht beschädigt wird. Es lag demnach nahe, auch die Sockelkörper wie die Kapitäle zu fasen und schliesslich nach polygonaler Grundform zu bilden. Besonders sind es die stärkeren, runden und polygonalen Pfeiler, bei welchen die in den Figuren 564 und 565 gezeigten Bildungen des Überganges in das Viereck eine unbequeme Grösse verlangen. In weit minderem Masse wird dagegen die viereckige Grundform an den Dienstsockeln hinderlich, zumal bei den aus einzelnen Diensten zusammengesetzten Pfeilern durch die Zusammenstellung der einzelnen Sockelquadrate, eine polygonale Grundform des ganzen Pfeilers sich leicht erzielen lässt. Deshalb finden sich zuweilen in ein und demselben Werke die runden Schiffspfeiler mit achteckigen, die Dienste und Dienstbündel aber mit quadratischen Sockeln; so in Notredame zu Dijon.

Die Annahme der polygonalen Grundform für die Sockelkörper erleichtert aber bei einem ansehnlichen Durchmesser der Säule die Bildung jener Übergänge von der Basis zum Sockel und macht dieselben bei Säulen von geringerem Durchmesser selbst überflüssig, weil dann der Vorsprung, den der Rand der runden Basis vor den Seitenflächen des polygonalen Sockels erhalten wird, selbst wenn das Polygon in den Kreis beschrieben ist, so gering wird, dass er ohne jede Unterstützung bleiben kann.

Bei freistehenden Pfeilern lässt sich ein reguläres Polygon erzielen, während bei angelehnten Diensten das Verwachsen der Sockelkörper zuweilen eine reguläre Polygonbildung verhindert und ein Vieleck mit gleichen Seiten nur aus der entsprechenden Einteilung des freibleibenden Kreissegmentes entstehen lässt. So ist in Fig. 566 das Polygon des Dienstsockels aus der Fünfteilung des Bogens entstanden, es würde in der Vollendung irregulär sein.

Die in Fig. 564 und 565 gezeigten verschiedenen Übergänge sind zuweilen auch auf die polygonalen Sockel oft mehr in dekorativer Absicht angewandt. Häufig finden sich besonders die in Fig. 565 gezeigten Ausschnitte aus den Ecken der Polygonsockel, wie in Fig. 566, und erhöhen durch die schärfere Betonung der Ecken die lebendige Wirkung.

Runder Sockel usw.

Die schon erwähnten runden Sockel bestehen gleichfalls in den meisten Fällen aus doppelten, durch gleiche Gliederungen bezeichneten Absätzen. Nur ändert sich das Verhältnis in soweit, als die eigentliche Basis sich unmittelbar dem runden Sockel anschliesst. Es kann daher der die Basis abschliessende Wulst mit der darunter liegenden Fase sich vereinigen, also eine geschweifte Gestaltung annehmen, oder auch wegfallen, wie in der Fig. 556.

Das hier über die runden Sockel Gesagte gilt in gleicher Weise für polygonale Sockel mit polygonaler Basis, welche keinen Übergang aus einer Grundform in die andere zu bilden haben. Wie dieser Übergang durch die Gliederung selbst gebildet werden kann, ähnlich der in Fig. 503 gezeigten Kapitälbildung, zeigt Fig. 568 in der perspektivischen Ansicht.

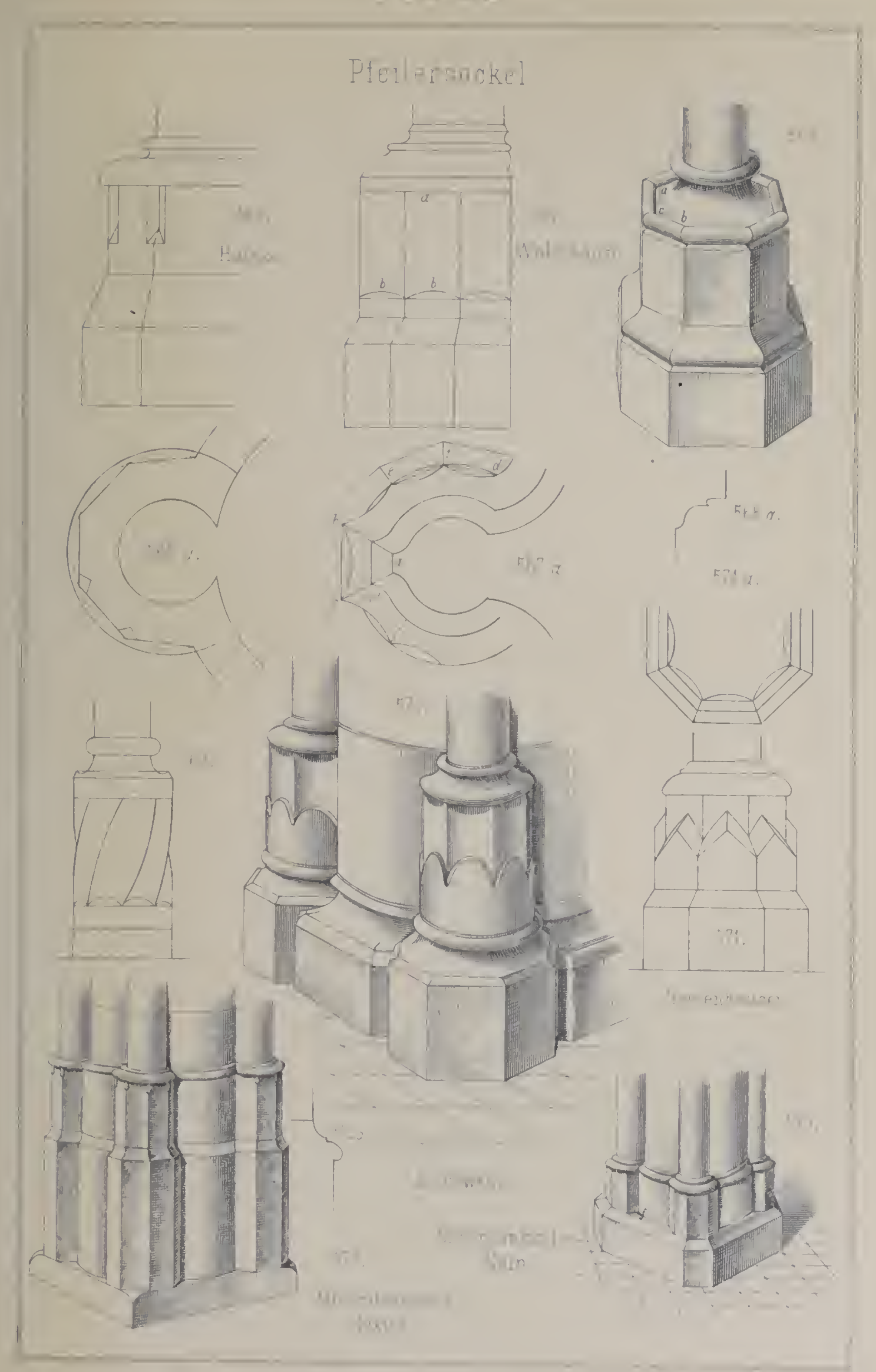
Der Übergang aus der Rundung in das Polygon ergiebt sich aber in der Hohlkehle der Basis leichter als in dem Kelche des Kapitäles, weil erstere bei *a* die wagerechte Richtung beruhrt, so dass, wie in der Fig. 568 angegeben, nur die Einschiebung der in der wagerechten Ebene liegenden Dreiecke *a b c* erforderlich ist, um den Übergang zu bewirken. In ähnlicher Weise finden sich an kleineren Gewändesäulchen die Sockelgliederungen zuweilen mit einer kleineren wagerechten Ebene beginnend (s. Fig. 568a), welche dann den Übergang ins Polygon bewirkt.

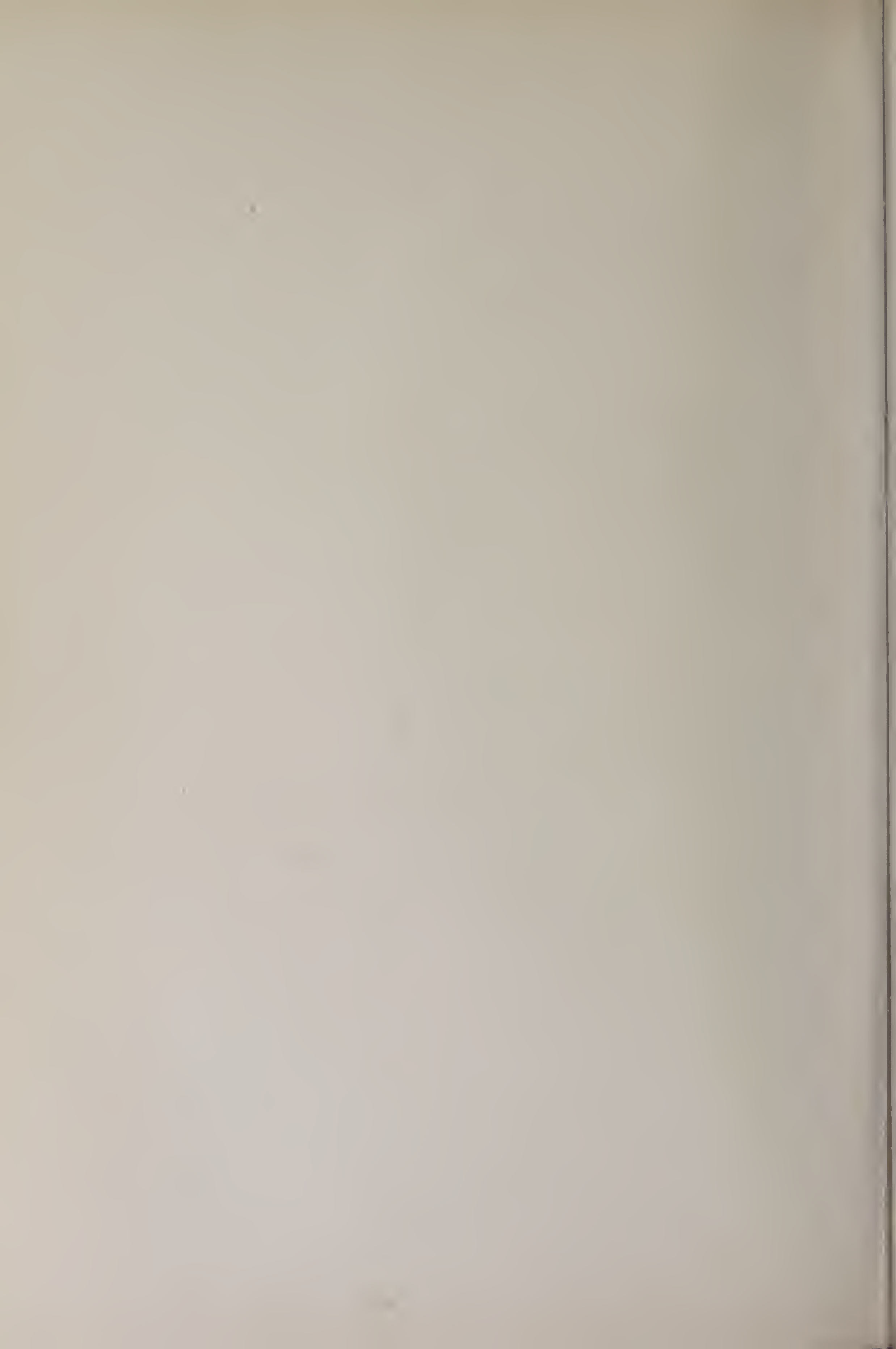
Eine Verbindung der runden und polygonalen Sockel zeigen gewisse, hauptsächlich im XV. Jahrhundert vorkommende Pfeiler, an denen der Sockel rund bleibt, aber unterhalb der Basis auf eine kurze Strecke eine Kannelierung angearbeitet ist, welche durch Wasserschläge wieder in den Kreis zurückgeht. Zuweilen aber geht dieser kannelierte Körper auch statt in den Kreis in ein Polygon über. Eigentümlich gestalten sich derartige Sockelbildungen an geschweiften Stäben, wie Fig. 567 zeigt.

Hier umzieht die Gliederung der Basis den Grundriss des Stabes, so dass das kleine, die Schweifung abschneidende Plättchen *a* im Sockel die Breite *b c* annimmt. Der Umfang des Sockelkörpers *b d* ist dann in drei Teile geteilt und jeder dieser Teile und in derselben Weise auch die Breite *b c* nach einem flachen Kreissegmente gebildet, so dass die Fläche *c b e f d* die Grundrissform wird. Diese konkaven Flächen laufen sich dann unter der Basis bei *a* in Fig. 567 tot und gehen bei *b* daselbst durch Wasserschläge in das entsprechende Polygon über, welches eine völlig irreguläre Gestaltung erhält und durch einen Wasserschlag sich in die untere Sockelabteilung erweitert.

Verschiedene Sockelbildungen der Spätzeit.

Der untere Sockel fällt an kleineren Säulchen und Rundstäben häufig dort weg, wo man in dem Kontraste zwischen dem kannelierten und dem glatten Teile des Sockelkörpers einen Ersatz dafür zu finden glaubte. Dieser Kontrast wird


Pfeilersockel
a
b
b
a
c
b



dann noch verstärkt, wenn die Kanten des kannelierten Körpers statt nach einer lotrechten Linie nach einer Spirale ansteigen, wie in Fig. 569. Zuweilen werden diese Spiralen auch von einem Punkte aus nach beiden Seiten geführt, so dass sie sich kreuzen und so kleine Rauten begrenzen, innerhalb deren die Kannelierungen sich durchdringen, oder es wachsen von denselben Punkten auch noch lotrechte Kanten in die Höhe, so dass die Zahl der Kreuzungen vergrössert wird und sich kleine Dreiecke bilden. Oder es sind die Kanten auf eine kurze Strecke lotrecht geführt, gehen dann in die Richtung der Spiralen über und hierauf in die lotrechte zurück, oder aber die Fläche des cylindrischen Sockelteiles ist geschuppt, kurz, die gotische Kunst des XV. und XVI. Jahrhunderts entwickelt eine unerschöpfliche Mannigfaltigkeit in der Behandlungsweise gerade dieses Architekturteiles, wie die bei Kallenbach und Heideloff in reicher Auswahl sich findenden Beispiele beweisen.

Wenn die geschilderte Behandlungsweise, an grösseren Pfeiler- oder Dienstsockeln angewandt, eine kleinliche Wirkung hervorbringt, so ist sie doch an allen den Teilen am Platze, welche dem Auge sehr nahe gerückt sind, auf denen dasselbe häufig und längere Zeit ruht, wie das z. B. an den Säulchen oder Rundstäben der Fenstergewände im Innern von weltlichen Gebäuden der Fall ist.

Eine Anwendung dieser dekorativen Motive auf wirkliche Dienstsockel findet sich an den Pfeilern der aus der zweiten Hälfte des XV. Jahrhunderts stammenden Katharinenkirche in Eschwege (Fig. 570). Hier setzt sich unter die runde Basis ein kannelierter Teil, welcher weiter unterhalb wieder in den Kreis zurückgeht. Dieser Übergang geschieht nicht durch gewöhnliche Wasserschläge, sondern durch rund gebildete, in der Richtung der Kreisperipherie zu beiden Seiten abfallende Giebel. Der untere Cylinder geht dann durch die untere Sockelgliederung nach der in Fig. 568 gezeigten Weise ins Achteck über. Eine ähnliche Gestaltung zeigen die Dienstsockel im Chore der Kirche zu Immenhausen, Fig. 571, an welchen der Übergang aus dem sich unter die Basis setzenden Achtecke mit konkaven Seiten in ein grösseres, geradlinig begrenztes, durch Giebel sich bewirkt, während die eigentliche Zweiteiligkeit des Sockels sich durch eine unterhalb dieser Giebel herumziehende Gliederung ausspricht.

In allen diesen Anordnungen lässt sich das Gesuchte nicht verkennen, aber sie sind doch, und zwar in sinnreicher Weise, aus dem Wesen abgeleitet, ergeben mit einfachen Mitteln eine reiche Wirkung und können als wertvolle Anhaltepunkte zur Bildung verschiedenartiger Detailformen dienen, vor allem an Werken der weltlichen Baukunst.

Untersatz des Sockels.

Unter den schon mehrfach angeführten beiden Sockelteilen findet sich zuweilen noch ein Untersatz, eine Stufe, auf welcher der Sockel steht, gleichsam die oberste Schicht des Fundamentes. Dem Pfeilergrundrisse entsprechend, ist es vor allem das übereck stehende Quadrat einfach wie in der Minoritenkirche zu Höxter (Fig. 572) oder mit gefasten Ecken oder auch mit vier aus den Ecken vortretenden Vierecken oder Achtecken, welches die Grundform abgiebt. Der Flächenüberschuss dieses Untersatzes bleibt in der Regel wagerecht mit gefasten Rändern und wird seltener von einer Schräge eingenommen, auf

welcher der oder die Sockel aufschneiden, wie an den Diensten der Liebfrauenkirche in Frankfurt, Fig. 574.

Einfacher wird die Gestaltung, wenn der Untersatz zugleich die untere Sockelabteilung abgiebt. Ein derartiges Beispiel aus der Minoritenkirche in Köln zeigt Fig. 573. Hier sind die Pfeilersockel rund, die Dienstsockel nach dem Achtecke und die untere Sockelabteilung nach einem übereck stehenden Quadrate gebildet, welches in der Weise abgefast ist, dass diese Fasenflächen den sich darauf setzenden Achteckseiten der Dienstsockel entsprechen, so dass die Flächen *f* in der wagerechten Ebene liegen bleiben.

An den in Fig. 574 dargestellten Dienstsockeln der Frankfurter Liebfrauenkirche sind die Untersätze rund und erweitern sich nochmals durch eine Sockelgliederung.

Anwendung der Sockelbildung auf Pfeiler von zusammengesetzter Grundform.

Auf die zusammengesetzten Sockelgrundrisse der Pfeiler oder Dienste lässt sich mit geringen Änderungen alles über die Kapitäle Gesagte anwenden. Bei den älteren treppenförmigen Pfeilern mit Diensten in den Winkeln und vor den äussersten Flächen, wie sie sich in Strassburg, Rouen u. a. O. finden, sind die Dienstsockel viereckig und treffen unter rechten Winkeln so aneinander, dass der Kern selbst ohne Sockel bleibt und sich in den Winkeln nach Art der Pfeiler von Rouen in Fig. 558 auf die Dienstsockel aufsetzt. Diese Anordnung erleidet entsprechende Abwandlungen, wenn die Sockelquadrate der die Kreuzrippen tragenden Dienste in der Richtung der Rippen gestellt sind, wie in Gelnhausen, Freiburg, Mantes, oder wenn die Sockel einzelner bezw. aller Dienste statt nach dem Quadrate nach einem Polygone sich bilden. Reicher wird die Gesamtform, wenn die Gliederung der Basis auch den treppenförmigen Kern umzieht, wie an den Pfeilern im Kreuzschiffe der Kirche von Kloster Haina, s. Fig. 421.

Abgetreppter Pfeiler.

Rundpfeiler mit Diensten.

Bei runden, mit vier Diensten verbundenen Pfeilern umzieht in der Regel ein und dieselbe Basis den runden Kern und die Dienste. Dabei sind dann sämtliche Sockel rund oder die Dienstsockel nehmen eine viereckige oder polygonale Grundform an und verwachsen mit dem runden Pfeilersockel. Schliesslich kann auch der Kern einen eckigen Sockel erhalten, selbst in Form des übereck stehenden Quadrates, wie in Reims. An einzelnen Werken sind nur die runden Dienstsockel zweiteilig, während der Pfeiler nur von der unteren Sockelgliederung umzogen wird, und zwar kommt dieses vornehmlich an den Pfeilern jener westfälischen Werke vor, deren Kapitäle nach demselben oben erklärten Prinzipe sich gestalten. Es ist überhaupt eine gewisse Übereinstimmung der Grundformen von Sockel und Kapitäl häufig, jedoch nicht gerade als Regel zu betrachten. Auf eine eigentümliche Gestaltung hat die achteckige Grundform des Pfeilers in Fig. 570 geführt. Hier schien der stärkere Pfeilerdurchmesser der den Übergang bewirkenden Sockelgliederung eine Grösse vorzuschreiben, die für die kleineren Dienstsockel unangemessen war, daher die abweichende Gestalt der letzteren. Die Ungleichheit zwischen Pfeiler- und Dienstsockeln findet sich indes schon in weitaus früheren

Werken. Das Verhältnis zwischen dem Kerne und den Diensten ist so vielfältig, dass sowohl eine gleichartige wie eine verschiedene Sockelgliederung berechtigt sein kann.

Leichter als bei den mit vier Diensten versehenen gestaltet sich der Übergang in das Achteck des Sockels bei den mit acht Diensten besetzten Rundpfeilern. Es kann das Achteck entweder so gestellt sein, dass die Kanten zwischen den Dienstsockeln liegen, wie in der Kirche von Kolmar, oder aber, dass es übereck steht.

An den gegliederten Pfeilern der mittleren Periode, deren Dienste durch Hohlkehlen oder eine reichere Gliederung verbunden sind, sind die Sockel äusserst verschieden.

Gegliederte Pfeiler der mittleren und späteren Zeit.

Zunächst umzieht die Gliederung der Basis die einzelnen Teile des Pfeilergrundrisses konzentrisch. Bei geringerer Grösse der Hohlkehlen können dabei nur die oberen, minder ausladenden Glieder der Basis in den Kehlen herumlaufen, während die äusseren Glieder der Dienstbasen und so auch die Sockel zusammenschneiden, so dass die Hohlkehlen im Sockel verschwinden. In der Regel aber ist die Hohlkehle auch da nicht ausgesprochen, wo es ihrer Grösse halber möglich gewesen wäre, weil die hierdurch im Sockel selbst entstehenden Vertiefungen zu enge geworden wären. Dann ziehen sich schon die oberen Glieder der Basis vor der Hohlkehle in der Richtung ihrer Sehne hin.

Sowie an einem treppenförmigen Pfeiler nur die Dienste Sockel haben (Fig. 558), so kann das der Fall sein, selbst wenn auch bei späteren Pfeilergrundrissen die Dienstsockel sich nicht vereinigen, sondern zwischeneinander die Hohlkehlen und Plättchen oder Stäbe durchlassen, mit denen sie sich auf einen gemeinschaftlichen Untersatz stellen. Fig. 574 zeigt ein derartiges Beispiel aus der Liebfrauenkirche in Frankfurt. Verwickelter wird die Sockellösung, wenn die Dienste verschiedene Stärke haben und auch die zwischen ihnen liegenden Glieder mit besonderen Sockeln versehen werden.

Beinahe unentwirrbar wird aber die Sockelgestalt, wenn auch der durch die Hohlkehlen dargestellte Pfeilerkern noch seinen besonderen niedrigen Sockel erhält, mit dem sich dann die Sockel der geschweiften Stäbe und prismatischen Körper durchdringen und hiernach auf einem gemeinschaftlichen Untersatze auflaufen.

Sowie nun die letztere Gestaltung sich dadurch ergiebt, dass auch die Hohlkehlen ihre selbständigen Sockel erhalten, dass man ihnen mithin gleiches Recht wie den Diensten einräumte, so gelangte man auf entgegengesetztem Wege dazu, dass man die Sockel auch für die Dienste wegliess und die sämtlichen Grundrissteile auf eine Schräge auflaufen liess, welche sich von dem Rande des nach einer regulären, gewöhnlich der des Pfeilers entsprechenden Grundform gebildeten Untersatzes erhob.

Dadurch entstehen die in der Wiesenkirche in Soest schon im XIV. und im Schiffe des Erfurter Domes im XV. Jahrhunderte vorkommenden Sockelbildungen. In der ersteren bildet das den Pfeilergrundriss (Fig. 440) umschreibende Quadrat und in der letzteren das entsprechende Achteck die Grundform des Untersatzes, von dessen Rande aus der Wasserschlag sich erhebt. Es ist der Übergang aus der reichen Grundrissform der Pfeiler in die einheitliche des Untersatzes

durch den Wasserschlag etwas gewaltsam und in ebenso hohem Grade trocken, als der vorher bezeichnete verworren ist. Der ruhigen Schönheit der Linien eines nach dem älteren Prinzipe gebildeten Sockels stehen beide nach.

Dennoch dürfen diese gekünstelten Gestaltungen nicht zu gering geschätzt werden, die völlige Notwendigkeit ihrer Bildung war gegeben, sobald man die Dienste und den Kern durch Gliederungen zu einem fortlaufenden Ganzen verschmolzen hatte, statt jeden der beiden Teile nach einer bestimmten Grundform zu bilden und ihre Zusammengehörigkeit nur durch ihre Stellung auszusprechen.

Durchdringungen

Die Aufnahme der Pfeilergliederung durch die von dem Rande des Sockelkörpers sich erhebende Schräge, also die Durchdringung des mehr oder weniger zusammengesetzten Pfeilerkörpers mit dem Kegel oder der Pyramide bildet nun ferner das Thema, welches die mehr dekorativen Sockelbildungen der Spätgotik mit einer unerschöpflichen Mannigfaltigkeit variieren. Wie in Fig. 574 der Übergang in den cylindrischen Untersatz gebildet wird, so lassen sich alle Übergänge aus einer Grundform in die andere dadurch ermöglichen und so auch die Erweiterung der Sockelgrundform durch diese Übergänge bewirken.

Es sei in der rechten Hälfte von Fig. 575a das innere Achteck mit konkaven Seiten die Grundform der oberen Sockelabteilung einer Säule, und das umbeschriebene übereck stehende Achteck die Grundform der unteren Sockelabteilung, so würde der Übergang durch die sich über den Dreiecken *a b c* erhebenden pyramidalen Körper *b c d* in Fig. 575 gebildet. In reicherer Weise aber könnte eine Gliederung (Fig. 575b), die sich von dem Rande des unteren Achteckes erhebt, die konkaven Flächen des oberen Sockelkörpers durchdringen, so dass sich statt der erwähnten Pyramiden kleine gegliederte Körper bilden. Soll nun das untere Achteck noch eine weitere Ausladung erhalten, so könnte sich dieselbe entweder unmittelbar unter diesen Körpern anschliessen, wie in Fig. 575 rechts, oder aber durch ein kurzes lotrechtes Stück davon getrennt sein.

Es liegt in der Natur solcher Gestaltungen, dass die sich aufeinandersetzenden Grundformen nach geometrischen Figuren gezeichnet sind, aus denen auch wohl die Höhendimensionen entnommen sind. So bestimmt hier zunächst das innere Achteck das umbeschriebene, ferner die Ecke *i* des um das innere Achteck beschriebenen Quadrates die untere Sockelausladung. So ist im Aufrisse die Höhe *a b* durch die Länge *i k* im Grundrisse, die Höhe *c e* durch eine Seite des um das innere Achteck beschriebenen Quadrates, die Höhen der kleinen Pyramiden, oder gegliederten Körper durch die Grundrisslänge *a i*, und in der rechten Hälfte die Höhe *f g* durch eine Seite des inneren Achteckes bestimmt.

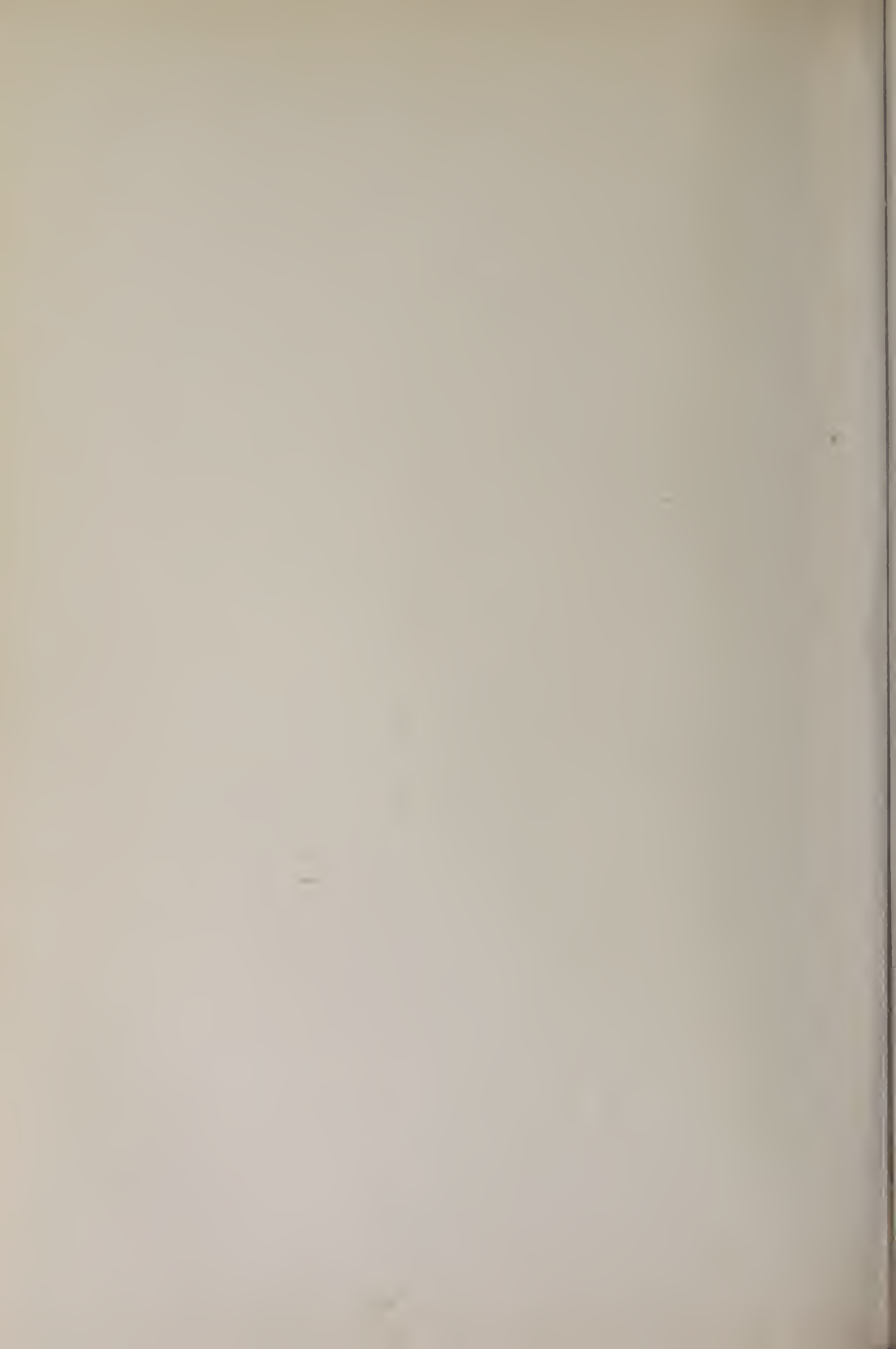
Im Grundrisse Fig. 576a sind die beiden gleichen inneren Achtecke so gedreht, dass sie sich durcheinander stechen. Um beide Achtecke sind dann übereck stehende Quadrate beschrieben, die sich in derselben Weise kreuzen wie die Achtecke und eine sternförmige Grundform bilden. Durch die Verbindung der Ecken derselben entsteht das äussere, die unterste Grundform abgebende Achteck. Fig. 576 zeigt die zugehörige Aufrissentwickelung. Der Übersicht halber sind die entsprechenden Punkte im Grund- und Aufrisse mit gleichnamigen Buchstaben bezeichnet.

Es ist sonach die Durcheinanderstellung derselben Grundformen der beiden Achtecke und der beiden Quadrate, welche das Motiv der Sockelbildung abgegeben hat und welche überhaupt ein überaus ergiebiges, fast kaleidoskopartiges Mittel bietet, um fortwährend neue Gestaltungen zu erzielen. Im gotischen A-B-C von Hoffstadt ist für die Durcheinanderstellung der Quadrate die Bezeichnung Quadratur, und für die der Dreiecke die der Triangulatur angenommen.

Die Entwickelung aus der Quadratur tritt entschiedener hervor, wenn beide Quadrate nicht wie in Fig. 576 in verschiedenen, sondern in derselben Höhenabteilung zu Tage treten. Hiernach ist Fig. 577 gebildet. Die sternartige Grundform spricht sich im Aufrisse durch die prismatischen, den achteckigen Kern umgebenden Körper *a b*, *c d* aus, welche oben durch eine Gliederung, wie bei *x* in Fig. 575, sich den Achtecksflächen anlegen. Es sind dieselben durch Sockel *e f* abgesetzt, durch die untere Gliederung *g* ist dann der Übergang ins Quadrat bewirkt. Bei reicherer Ge-

Tafel LIV.





staltung würden die Seitenflächen der prismatischen Körper noch mit masswerkartig behandelten Blenden verziert werden können. In dieser Weise ist Fig. 578 behandelt, die zugleich dadurch von Fig. 577 abweicht, dass aus der sternartigen Grundform der Übergang nicht ins Viereck, sondern ins Achteck, und zwar nicht wie dort nur durch eine Gliederung, sondern durch kleine zwischen den Sternteilen eingeschobene Prismen gebildet wird.

Die Figuren 580 und 580a zeigen sodann eine Sockelbildung aus der Triangulatur, welche, auch die Eigentümlichkeit hat, dass die dreiseitigen Prismen von übereck gestellten Gliedern bei *a b* usw. durchschnitten werden. In der Nebenfigur 580b ist sodann dieselbe Gestaltung auch auf die untere Absetzung angewandt.

Das Durcheinanderstechen der Achtecke, welches in Figur 576a im Grundrisse angegeben ist, führt sodann noch auf eine ganz eigentümliche Aufrissentwickelung, wenn, wie in Fig. 582 angegeben, eines der Achtecke sich unter das obere und das zweite auf das untere Sockelgesims setzt, dann beide in der Mitte des Sockelkörpers auf eine kurze Strecke *a b* einander durchdringen und hier die Grundform des sechzehnteiligen Sternes erzeugen, worauf dann die dem unteren Achtecke angehörigen Sternteile sich durch Wasserschläge den Flächen des oberen und die des letzteren durch wagerechte Abschnitte den Flächen des unteren Achteckes anlegen. An einem Dienstsockel der Liebfrauenkirche in Frankfurt findet sich dieses Motiv durch blosses, dem runden Sockelkerne aufliegendes Leistenwerk ausgesprochen (s. Fig. 581 und 581a).

Um die Wirkung dieser Gattung von Sockelbildungen mit den einfachen älteren Gestaltungen vergleichen zu können, fügen wir noch in Fig. 579 eine perspektivische Ansicht eines solchen späteren Sockels bei. Bei aller Lebendigkeit, welche denselben durch den Wechsel von Licht und Schatten, durch ihre bewegte Linienführung eigen, bleiben sie doch der ruhigen Schönheit der älteren nach den Figuren 558—565 ausgeführten weitaus untergeordnet. Es ist eben der Mangel der durchgehenden Horizontalen, welcher sich fühlbar macht, und welcher schliesslich dem ganzen Sockel das Ansehen eines Krystalles verleiht.

Es können daher derartige Gestaltungen weniger an wirklichen Gewölbepfeilern, als vielmehr an jenen kleineren, etwa nur zum Tragen einer Balkendecke oder einer Auskragung dienenden Ständern in Anwendung kommen. Vor allem aber ist es das Material des Holzes, an welchem sie durch die Unmöglichkeit, stärkere Ausladungen zu bilden, gewissermassen angezeigt sind. Immerhin aber können sie nur gewinnen in dem Masse, als sie die Hauptteile der älteren Sockelbildung wenigstens noch anklingen lassen und in ihrer Aufrissentwickelung die Wagerechte nicht ganz verleugnen.

4. Die Gewölbepfeiler im Ziegelbau.

Die Grundformen der Pfeiler sind mit gewissen durch die Beschaffenheit des Materiales, durch die geringe Grösse der einzelnen Stücke und die Notwendigkeit des Verbandes erzeugten Modifikationen dieselben wie im Steinbaue. Anfangs lehnte man sich noch stark an die Werksteinformen an, später entwickelt sich eine selbständige Ziegelgliederung.

Die Ziegelgrösse, die indes an den älteren Werken die jetzt übliche übersteigt (meist 28—30 cm Länge bei 8—10 cm Höhe), setzt den einzelnen Gliedern, selbst der Grundform der Dienste, eine Grenze. Dann begünstigt der Verband gewisse Grundformen, während er die übrigen nur bei Überwindung gewisser Schwierigkeiten zulässt.

Aus der Richtung der sich unter rechten Winkeln schneidenden Stossfugen ergiebt sich die rechteckige und die daraus gebildete kreuz- oder treppenförmige Grundrissbildung. Der vierkantige Pfeiler erhält durch Ausführung der Ecken mit gefasten oder profilierten Ziegeln, ferner durch Vorlage von gegliederten Körpern vor der Fläche, z. B. Dienstbündeln eine reichere Ausbildung. Der Verband dieser Dienstbündel geschieht dann auf die nämliche Weise und bedingt auch hier deren Gestaltung. In Fig. 583 haben wir dieselben an den verschiedenen Seiten des Quadrates angegeben.

Grundrissbildung.

Fig. 584 zeigt sodann einen Pfeilergrundriss von treppenförmiger Grundform. Der Reichtum lässt sich steigern durch reichere Gliederung der einzelnen Ziegel. In der Hauptanlage stimmen sie überein mit den auch im Steinbaue vorkommenden treppenförmigen Grundrissen. Es ist den abgetreppten Grundrissen der Vorzug eigen, dass sie unmittelbar aus dem Verbande sich ergeben, während Dienstbündel, wie z. B. in Fig. 583 links, die von der treppenförmigen Grundform abweichen, sich nur durch ein Herausgehen aus der gewöhnlichen Fugenanordnung einbinden lassen und viele verschiedene Formen der Ziegel verlangen.

Die Fig. 585 zeigt eine nur einseitig symmetrische Anordnung, da die den Scheidebogen unterstehenden Teile von denjenigen der Gewölbedienste abweichen. Es spricht sich das am deutlichsten aus, wenn in der ganzen Grundform die Länge über die Breite oder umgekehrt vorherrscht, so in der Kreuzkirche in Breslau (Fig. 586), wo die grosse Pfeilerweite eine Vergrösserung der Pfeiler in der Längenrichtung herbeiführte, und in der Kirche zu Bützow, wo das umgekehrte Verhältnis stattfindet, Fig. 587.*)

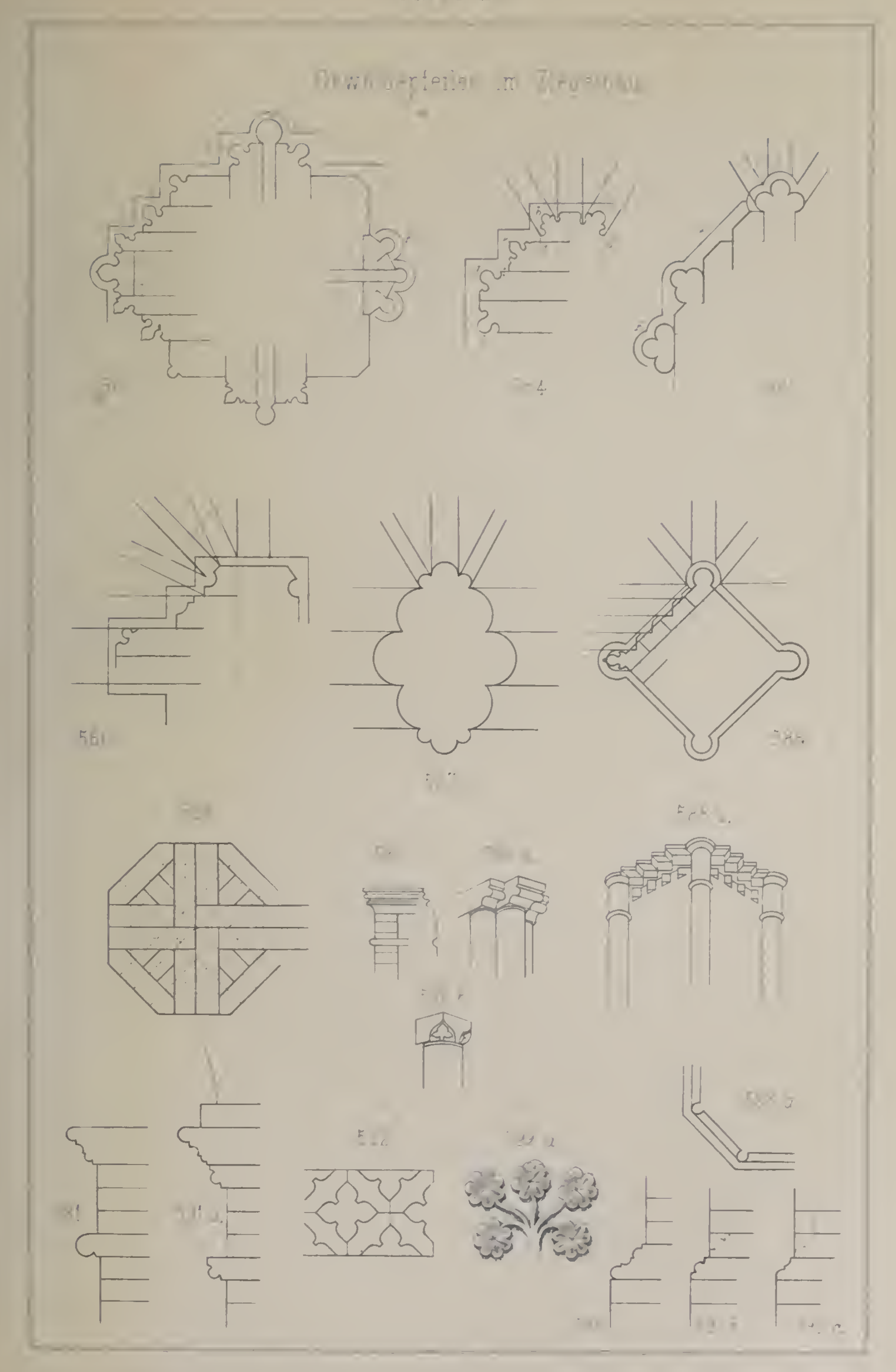
Eine Abweichung kann veranlasst werden durch Übereckstellung der quadratischen Pfeilergrundform (s. Fig. 588). Die Fugen laufen dann in diagonaler Richtung und die Ecken werden entweder gefast oder gegliedert oder aber mit vortretenden Rundstäben besetzt. Bei der achteckigen Grundform, Fig. 589, bestehen die beiden aufeinander liegenden Schichten, jede aus einem Kreuze und den Ausfüllungen der Ecken. Reichere Gestaltung erhält auch diese Grundform durch Gliederung der Ecken und durch den Flächen eingebundene Dienste. Nach demselben Fugensysteme bildet sich auch die runde Form. Indes kann hier statt des Kreuzes auch die Lage von sechs Strahlen angenommen werden. Auch die Rundpfeiler können mit Diensten besetzt sein, häufig finden sich deren vier.

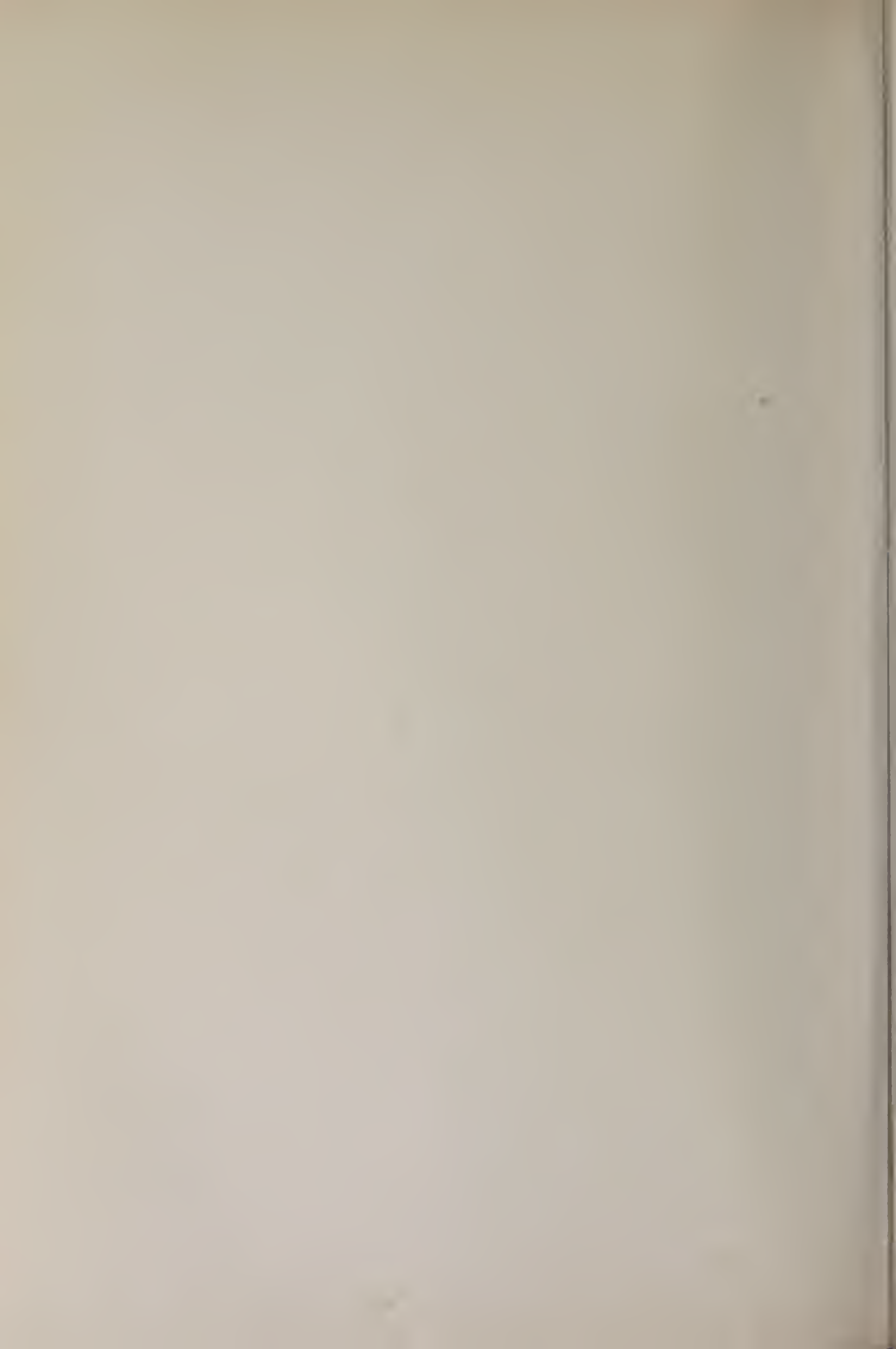
Scheidebogen.

Die Hauptformen der Scheidebogen bestimmen sich gleichfalls aus der Konstruktion. Sie bestehen aus zwei oder mehreren, konzentrischen Rollschichten, deren Höhe wieder durch die Ziegelbreite bestimmt wird, müssen also einen rechteckigen, mehr oder weniger abgetreppten Durchschnitt erhalten. Der Pfeilergrundriss 584 kann daher in dem Teile *a e f g h* zugleich das Profil eines Scheidebogens darstellen. Bei breiten Scheidebogen werden an der Leibung breite Flächen gewonnen, welche getüncht und bemalt wurden, wie denn die Bemalung einzelner Teile dem Wesen des Ziegelbaues ganz besonders angemessen ist. Umgekehrt

*) Essenwein, Norddeutschlands Ziegelbau.

Tafel LV





kann der Scheidebogen einen anderen Charakter annehmen, wenn der unteren Fläche ein Rippenziegel eingebunden ist, so dass das ganze Profil nach unten in eine Kante ausläuft. Die Profilierung der Rippenziegel und Bildung der Rippenanfänge ist schon weiter oben erklärt, so dass hiernach der Bogenanfang konstruiert werden kann.

Kapitälbildungen.

Einem nach Fig. 584 und 585 gebildeten Pfeiler legt sich der Bogenanfang in beinahe völliger Übereinstimmung auf und es würde ein Kapitäl nur nötig sein an den mit *a b c d* bezeichneten Teilen, um die Abweichung dieser Grundform von der des Rippenanfanges zu vermitteln, an dem sonstigen Pfeilerkörper aber nur, wenn die Profilierung der Ziegel des Bogens von der des Pfeilers abweicht. Die Grundform des Kapitäles aber wird am besten der Abtreppung folgen, so dass die Profilierungen entweder unterhalb des Kapitäles ins Viereck zurückgehen oder an der Unterfläche desselben sich tot laufen.

Bei den Pfeilern mit diagonaler Fugenrichtung, wie die Fig. 588 und 589, muss durch die Kapitälform die obere Fläche so erweitert werden, dass sie den treppenförmigen Bogengrundriss aufzunehmen im stande ist. Es würde das z. B. in Fig. 588 geschehen entweder durch einen einfachen, die ganze Grundform umziehenden Vorsprung, wie im Grundrisse daselbst angegeben, oder aber dadurch, dass in dem Kapitäle selbst durch Anordnung einer oder mehrerer ausgekragten Schichten der Übergang aus der diagonalen Richtung in die treppenförmige gebildet wäre, mit anderen Worten, dass der Wechsel der Fugenrichtung im Kapitäle selbst, statt zwischen Kapitäl und Bogenanfang eintrete. Fig. 588a zeigt eine derartige Gestaltung in perspektivischer Ansicht.

An einem achteckigen oder runden Pfeiler folgt die Grundform des Kapitäles gleichfalls der des Pfeilers und umzieht auch die etwa vortretenden Dienste. In allen Fällen aber ist die Ausladung des Bogenanfanges über den Pfeilerkörper, somit auch die des Kapitäles nur eine sehr geringe

Die Ausführung des Kapitäles geschieht in einfachster Weise durch vorgerückte Schichten von der gewöhnlichen Höhe oder der Höhe einer Rollschicht, welchen das erforderliche Profil angeformt ist (s. Fig. 590, 591, 591a). Die Stücke, welche die Kehrungen auf den Ecken bilden, müssen eigens geformt sein, um die Eckfuge und das Verhauen der Ziegel zu vermeiden. In den einspringenden Winkeln dagegen ist die Fuge auf Kehrung am Platze. Das Formen der Eckstücke lässt sich vermeiden, wenn die Profilierungen nur einseitig ausladen (s. Fig. 590a) oder die Rundstäbe durch eigens geformte Stücke (Fig. 590b) ins Viereck übergehen. Bei runder Grundrissbildung müssen die einzelnen Ziegel natürlich als Kreisteile geformt sein. Indes findet sich auch hier häufig die runde Grundform vermieden und das Kapitäl aus dem Vierecke, und bei mehreren aneinanderschneidenden Rundstäben selbst aus mehreren aneinanderstossenden Vierecken gebildet (s. Fig. 590a).

Bei einem nach Fig. 590, bezw. 591 gestalteten Kapitäle wird der dem Kelche entsprechende Teil verziert entweder durch Bemalung oder durch ein plastisches Ornament. Letzteres kann gebildet werden aus gebranntem Thon oder aus Mörtelmasse. In ersterem Falle würden die Dienstkapitäle möglichst als volle Stücke geformt werden müssen, daher nur eine geringe Grösse erhalten können. Weil die Beschaffenheit des Materiales kein grosses Relief gestattet und die Nachahmung steinerner Kapitäle verbietet, muss das Ornament hauptsächlich durch den Kontur wirken (s. Fig. 592 und 592a). Einzelne Blätter von scharf ausgesprochenen Umrissen, ein Ranken- oder Pflanzenwerk mit einfachen, nicht übereinanderliegenden Blättern, sind hier am

Platze. Fig. 592a zeigt ein derartiges Beispiel aus der Kirche vom Kloster Chorin. Es muss das Ornament ganz anspruchslos als eine blosse Flächenverzierung auftreten.

Häufig finden sich Kapitäle, wie überhaupt ornamentale Bildungen aus einer stark mit scharfkörnigem Sande versetzten Mörtelmasse. Ob man daraus gleichsam Werkstücke goss, oder aber die Masse auf die Pfeiler oder Mauerfläche nass auftrug und das Ornament daraus modellierte, wie man noch im vorigen Jahrhunderte die Stukkaturarbeiten ausführte, können wir nicht entscheiden. Wahrscheinlich wurde das Ornament über grösseren Flächen aus der aufgetragenen Mörtelmasse modelliert. Die noch erhaltenen Kreuzgangteile des ehemaligen Dominikanerklosters (der Burg) in Lübeck haben einen grossen Teil ihres Reichtumes an derartigen Arbeiten bewahrt.

Steinerne Kapitäle auf gemauerten Ziegelpfeilern können in derselben Weise ausgeführt werden, wie auf steinernen und unterscheiden sich allein durch die geringere Grösse der Stäbe oder Dienste, die sie krönen. Es ist daher auch hier eine einfache Behandlungsweise am Platze.

Sockelbildungen.

Fast noch mehr als für die Kapitäle ergiebt sich für die Sockel die Bedingung einer gewissen Einfachheit. Die Gestaltungen der Figuren 558—565 sind aus der Grundform des Werkstückes hervorgegangen und nur durch die Grösse desselben möglich. Sollte es daher selbst gelingen, Stücke in ähnlicher Grösse in Thon zu brennen, so würde hierdurch das eigentliche Wesen des Ziegelbaues verleugnet, ganz abgesehen von dem Eindrucke der Unsicherheit, den ein derartiges irdenes Werkstück hervorbringen muss. Zudem ist es an erster Stelle die Arbeit des Maurers, welche dem Ziegelbaue sein Gepräge giebt und welche nur auf Kosten der gediegenen Wirkung des Ganzen durch die des Formers oder der Ziegelfabrikanten verdrängt werden kann.

Die Sockelgliederung wird durch vorgerückte Schichten von Formenziegeln bewirkt (Fig. 593). Die reicheren Gliederungen der Pfeiler können in den Sockeln nicht zum Ausdrucke kommen und gehen entweder oberhalb der Sockel in ein oder mehrere aneinanderstossende Vierecke zurück, welche dann von der Sockelausladung umzogen werden, oder sie bleiben auch ohne Sockel und sitzen auf dem gemeinschaftlichen Pfeilersockel (Fig. 593b und 593c). So laufen häufig die den Ecken oder Flächen achteckiger Pfeiler eingebundenen Dienste auf dem Sockel des Achteckes auf.

5. Deckenschafte und freistehende Ständer.

Deckenschafte aus Stein.

Jene, nur noch in geringerer Zahl erhaltenen steinernen Pfeiler, welche zur Unterstützung von hölzernen Balken und Trägern dienen können, wie unter den Orgelbühnen kleinerer Kirchen, unter Vorhallendächern (an s. g. Veranden), oder auch in besonders weiten Sälen, unterscheiden sich wesentlich von den Gewölbepfeilern.

Grundform des Schaftes.

Die Grundform des eigentlichen Leibes, des Stammes, ist vorherrschend nach dem Quadrate mit gefasten Ecken, einem Polygone oder dem Kreise gestaltet.

Häufig findet sich nach Art der Kannelierungen der griechischen Säulen eine Gliederung des Stammes, die oberhalb des Sockels und unterhalb des Kapitäles in die Grundform zurückgeht. Der dekorative Charakter spricht sich auch darin aus, dass diese Gliederungen, vornehmlich nach

der späteren Behandlungsweise, seltener fast lotrecht als in der Spirale geführt sind, häufig auch sich mit der in entgegengesetztem Sinne gehenden Spirale oder mit einer lotrecht geführten Gliederung kreuzen und so dem Charakter einer Flächenverzierung sich nähern.

Ein Grundunterschied solcher steinerner Ständer von den Gewölbepfeilern liegt darin, dass erstere ohne Kapitäl nicht gedacht werden können, weil sie das Material des Stammes in sich zum Abschlusse bringen, daher eine von den getragenen Teilen völlig isolierte Stellung einnehmen.

Grundform des Kapitäles

Die Grundform des Kapitäles ist einfachsten Falles das Quadrat. Abweichungen von demselben werden durch die Balkendecke in ähnlicher Weise bestimmt, wie an den Gewölbepfeilern durch den Grundriss des Bogenanfanges.

Gewöhnlich trägt der Ständer einen Unterzug, welchem die Deckenbalken aufliegen, gerade wie die griechische Säule den Architrav, welchem die Steinbalken aufliegen. Hiernach wird die Längenrichtung des Unterzuges in der Kapitälform zum Ausdrucke kommen müssen. An dem dorischen Säulenkapitäle findet sich diese Beziehung nicht gewahrt. Ein höherer Organismus belebt das jonische Kapitäl, hier spricht sich die Längenrichtung des Architraves in der Bewegung der Voluten aus und es wird an der Ecksäule ein Zusammentreffen der von beiden Seiten kommenden Voluten und ein Herauskehren derselben in diagonaler Richtung veranlasst.

In alledem lässt sich wohl eine feine und geistreiche Bezeichnung des konstruktiven Verhältnisses, nicht aber eine Hilfe erblicken, welche der Konstruktion geleistet wird, denn die Grundfläche des Kapitäles bleibt ganz oder nahezu die quadratische, den beiden auf der Ecksäule zusammentreffenden Architraven dasselbe Auflager wie den einfach darüber streichenden bietend.

Eine Verbesserung des Auflagers, eine demselben entsprechende Umbildung der Kapitälgrundform findet sich dagegen schon an jenen altindischen, mit Konsolen verbundenen Kapitälgestaltungen. Die gotische Kunst, welche einem jeden Bedürfnisse wirkliche Abhilfe bringt und nur das andeutet, was sie dem Wesen nach erfüllt, muss daher auch in diesem Falle an eine derartige Umgestaltung der Kapitälgrundform gehen, dass dadurch die freitragende Länge des Unterzuges verringert wird und zugleich die in ein und derselben Ebene sich kreuzenden Unterzüge ein angemessenes Auflager erhalten, d. h. es wird die Grundform des Kapitäles unter einem einfachen Unterzuge ein Rechteck, unter zwei sich kreuzenden ein Kreuz, unter zwei zusammentreffenden ein T sein müssen. Abweichungen hiervon, und zwar Beibehaltung einer einfach konzentrischen Grundform finden sich freilich häufig, aber dann sind entweder die Ständer mit anderen Konstruktionsteilen, wie Sattelhölzern usw., verbunden, oder aber sie dienen nicht ausschliesslich zum Tragen der Balkendecke, sollen vielmehr von oben belastete, nahe bei einander gelegene Punkte stützen.

Aufriss des Kapitäles.

Die Mittel zur Gewinnung einer angemessenen Grundform liegen in einer Verbindung des Kapitäles mit zwei oder mehreren Kragsteinbildungen, wobei entweder beide Teile einen mehr oder weniger gesonderten Ausdruck erhalten, oder der Kapitälkörper unmittelbar in die kragsteinartige Bildung übergeht. Die Scheidung beider Teile tritt am entschiedensten auf in romanischen Kapitälen,

deren Aufsatz eine kragsteinartige Bildung erhalten hat. Die gotische Kunst bevorzugt mehr eine Verbindung beider Teile in ein und demselben Werkstücke.

Ein sehr schönes Beispiel eines Kapitäles mit seitlichen Auskragungen findet sich in dem dict. d'arch. von Viollet-le-duc. Hier geht der Säulenkörper über den Astragal hinaus und erweitert sich in einer geringen Ausbiegung des Kelchrandes, um einen achteckigen Abakus und nach beiden Seiten sich mit dem Kapitälkörper durchdringende Kragsteine aufzunehmen. Der zwischen beiden Kragsteinen stehenbleibende Teil des Kelches ist von einem Blätterbüschel bedeckt und den Stirnen der Kragsteine sind aus der Masse des Werkstückes genommene Wappenschilder vorgelegt. Die obere Grundfläche zeigt daher die in Fig. 594 angedeutete Gestalt.

Das Auflager eines einfachen Balkens zu gewinnen genügt eine einfache rechteckige Grundform oder an den Ecken eine aus zwei sich unter dem Winkel der Ecke durchdringenden Rechtecken gebildete, wie z. B. Fig. 595a zeigt. Der Aufriss kann die in Fig. 595 angegebene Gestalt annehmen, die sich auch für das nach dem einfachen Rechtecke gebildete Kapitäl anwenden lässt. Ein anderes Beispiel zeigt die Fig. 596.

In gleicher Weise würde sich die die seitliche Auskragung mit blattartigen Trägern erzielen lassen. Vergl. die Figuren 597, 597a und 597b.

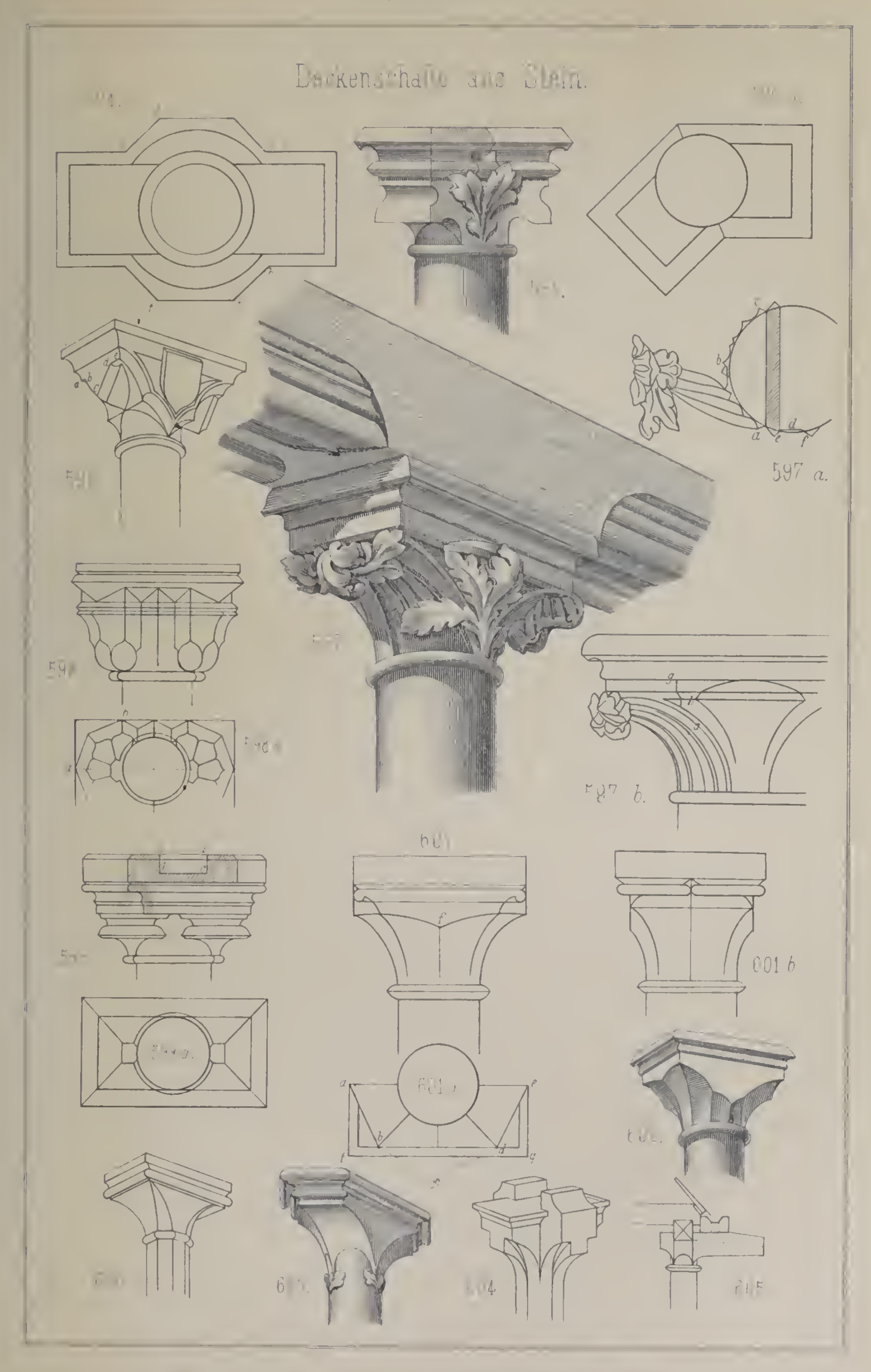
Im Grundrisse deuten die schraffierten Teile den Ursprung der sich nach beiden Seiten schwingenden Kragsteine *a* an (Fig. 567b), deren oberer Rand durch die ihrer Unterfläche vorgelegten, durch den Grundrissteil *a b c* angezeigten Träger gestützt wird. Oberhalb dieser Kragsteine, also bei *b* im Aufrisse, tritt dann die im Grundrisse bei *d* angedeutete lotrechte Flucht zu Tage, mit welcher der aus dem Grundrissteile *e f* sich entwickelnde Teil des Kelches eine Durchdringung eingeht. Dem Kapitäle liegt die rechteckige Platte *g* auf.

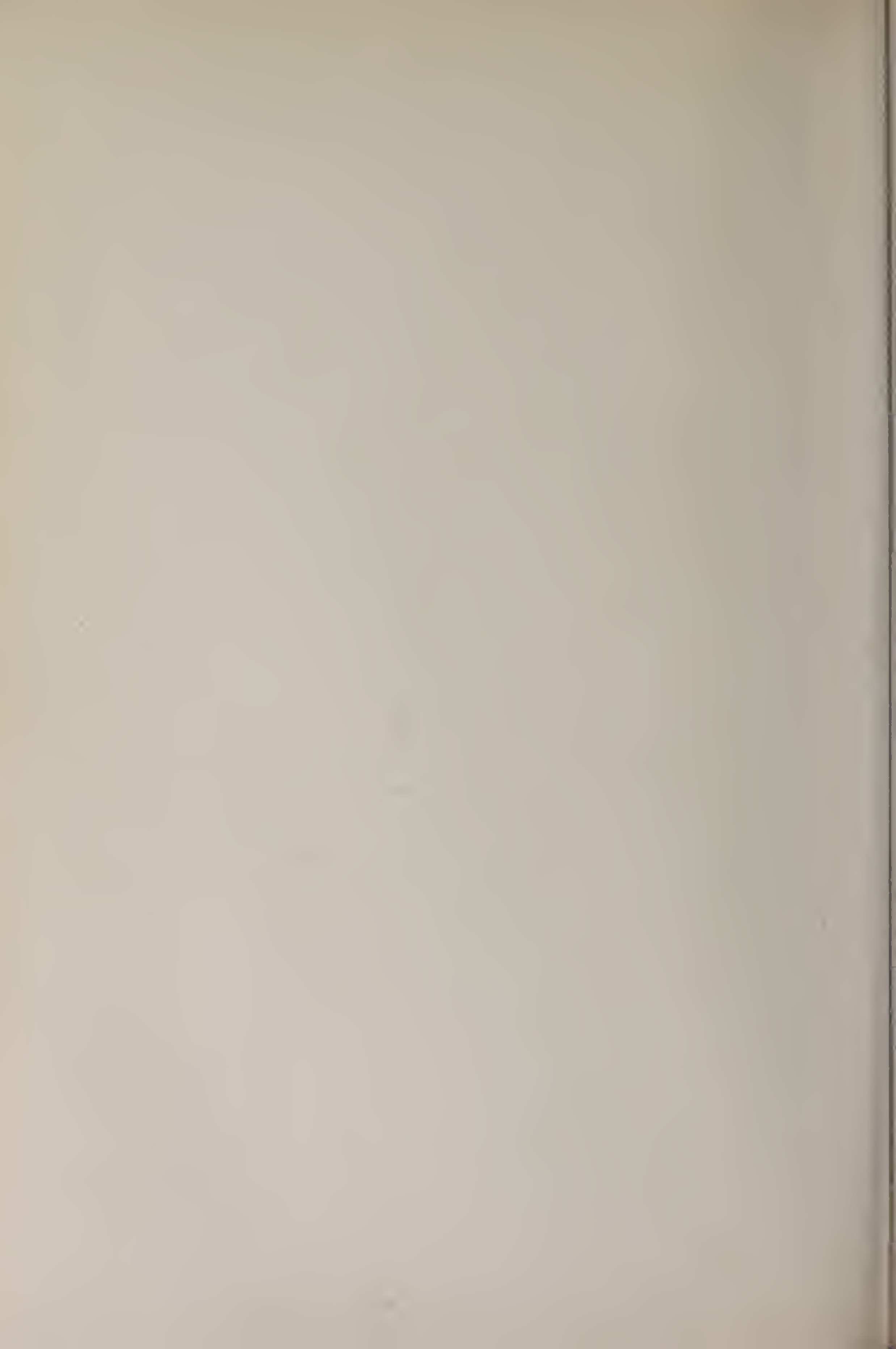
Ebenso wie mit den einseitig ausladenden würde sich die Kapitälbildung auch nach Fig. 598 mit zwei konzentrischen Kragsteinen in Verbindung bringen lassen. Ähnlich ist auch der Kragstein 599, 599a gebildet.

Eine Bereicherung lässt sich erzielen durch Verbindung des Säulenkapitäles mit Köpfen oder anderen figürlichen Gestalten, welche die beabsichtigten Ausladungen stützen.

Unmittelbar durch die Kapitälbildung lassen sich die Ausladungen des Kapitälkörpers nach beiden Seiten hin verschieden machen, wobei die denselben begrenzenden Flächen zum Teil windschief werden. Ein derartiges Beispiel zeigt die Fig. 600.

Weiter lässt sich die durch ein konzentrisch ausladendes Kapitäl gewonnene obere Grundfläche in eine oblonge verwandeln durch einen Ausschnitt aus dem Kapitälkörper. So ist in Fig. 601a von dem nach dem Achtecke *a b c d e* ausladenden Kapitälkörper der durch das Dreieck *b c d* bezeichnete Teil in lotrechter Richtung weggeschnitten. Durch jenen Schnitt erzeugen sich also aus der Masse des Kapitälkörpers zu beiden Seiten die lotrechten Schildflächen *f* im Aufrisse Fig. 601 in derselben Weise wie die halbkreisförmigen Schildflächen in dem romanischen Würfelkapitäle durch Abschnitte von der Kugel. Die Fig. 601b zeigt den zugehörigen Aufriss von der Seite. Dasselbe Verfahren lässt sich dann auf jedes andere Polygon anwenden, auf das der Richtung der Balken parallel stehende Achteck, auf das Sechseck, das Zehneck, das Zwölfeck usw. und auf die Übereckstellungen dieser Figuren. Fig. 602 zeigt die Gestaltung aus dem übereck gestellten Zwölfecke, Fig. 603 die aus dem übereck stehenden Quadrate in perspektivischer Ansicht. In letzterer sind die unter die Balken kommenden Ecken des Quadrates beibehalten. Ebenso gut aber hätte entweder nach Fig. 601


Deckenschäfte aus Stein.
597 a.
597 b.
601
601 b
604



oder nach Fig. 602 die obere Grundform in ein Rechteck verwandelt werden können.

Auflagerung der Balken.

Der Kapitälplatte liegt der Balken oder Unterzug auf und kann durch einen Dübbel in seiner Lage gehalten werden. Letzterer wird entbehrlich, wenn aus der oberen Fläche der Platte eine sogenannte Gabel gebildet ist, wie der in Fig. 599 eingezeichnete Durchschnitt zeigt, in welche dann der Balken zu liegen kommt. Zur Führung des Balkens könnten statt dessen zwei kürzere, den Balken umfassende Wangenstücke dienen, wodurch das Kapitäl die in Fig. 604 angegebene Gestalt annimmt. Soll eine derartige Anordnung im Freien angewandt werden, so wird es notwendig, durch die Auskragungen hindurch einen kleinen Kanal zu arbeiten, welcher das in die Fuge zwischen Holz und Stein eindringende Regenwasser ableiten und durch die Bildung seiner Mündungen die verschiedenartigsten Gestalten annehmen kann. Es liessen sich dieselben zu förmlichen weit ausladenden Ausgüssen ausbilden, welche dann, wenn die Entfernung der Ständer solches gestattet, selbst übergelegte Rinnen tragen könnten, die den Wasserabfluss eines etwa darüber befindlichen Daches aufzunehmen hätten (s. Fig. 605).

Die Grundform des Kreuzes ist für die obere Fläche da angezeigt, wo der Ständer unter die Kreuzung von zwei Balken oder Unterzügen zu stehen kommt. Derartige Fälle können durch gewisse Abweichungen von der jetzt üblichen Deckenkonstruktion bedingt werden, von welchen weiter unten die Rede sein wird. Ein einfaches Beispiel findet sich im Hofe des Hospitales von Beaune*), wo das Kreuz der Kapitälform nur aus drei Armen besteht. Der vierte würde hinzukommen, wenn die über den Pfosten hinaustretenden Balkenköpfe die Ständer eines oberen Stockwerkes tragen sollten und so durch die Kragsteine eine Unterstützung erhielten.

Soll das obere Stockwerk gleichfalls durch steinerne Pfeiler gebildet werden, so muss der Kern des unteren Pfostens durchgehen, während die Unterzüge nur auf den Auskragungen liegen, so dass sich unter anderen der Grundriss 594 ergeben könnte.

Die Breite des Unterzuges kann im einfachsten Falle der Breite des Kapitäles gleich kommen und der Pfosten um die immer geringe Kapitälausladung schwächer sein. Um jedoch ein durch die Belastung des Unterzuges möglicherweise bewirktes Abspringen der oberen wagerechten Kapitälkanten zu verhüten, können dieselben wie in Fig. 603, von einer über die Breite des Unterzuges vortretenden Gliederung umzogen werden und so zugleich in sich selbst zu einem völligeren Abschlusse gelangen. Die Gliederung schliesst dann nach oben mit einem Wasserschlage oder einer Verrundung ab. Dieser Breitenzuwachs des Kapitäles wird ferner notwendig durch die in den Figuren 599 und 604 angegebene Bildung einer Gabel.

Über die Sockelgestaltungen solcher Pfosten gilt das schon oben über den Pfeilersockel Gesagte.

*) Verdier, arch. civ. et dom. Viollet-le-duc, dict. d'arch. pag. 543.

Stützen aus Holz.

Weitaus häufigere Anwendung als die steinernen finden die hölzernen Pfosten. In Wirklichkeit sind denselben gewisse Vorzüge eigen, besonders bezüglich der Leichtigkeit der Verbindung mit den getragenen Balken oder Unterzügen. Unter den gegenwärtigen Verhältnissen, wo das Holz häufig zu frisch verarbeitet wird, bringen sie dagegen den Nachteil mit sich, dass sie leicht aufreissen.

Aus der Verwendung von vollen Stämmen ergiebt sich zunächst die Grundform des Achteckes, aus der von geschnittenem Holze die des Quadrates. Da es meist von Wichtigkeit ist, die tragende Fläche sowohl wie die, mit welcher der Pfosten sich auf das Fundament setzt, möglichst gross zu lassen, so muss der auf seine Höhe etwa mannigfach abgesetzte Pfosten oberhalb des Sockels und unterhalb des Unterzuges in die volle Grundform zurückgehen (s. Fig. 606). Da der Pfosten ferner auf seine ganze Höhe aus einem Stücke gebildet wird, so können die Ausladungen seiner Glieder keine sehr bedeutenden sein.

Vollkommen sinnwidrig ist es, durch angenagelte Leistchen den mangelnden Ausladungen zu Hilfe kommen zu wollen. Nicht in dem Annageln liegt hier das Verkehrte, sondern in der missglückten Absicht der Täuschung. So können wirkliche Schmuckteile, denen keine struktive Bedeutung innewohnt, wie Wappenschilder usw., allerdings und selbst aus fremdem Materiale angelegt werden, aber dann so, dass sie als Zuthat kenntlich sind, frei abstehend oder über eine Fuge fassend.

Vieleckiger Pfosten.

Jene an den Kapitälen der steinernen Pfosten entwickelte zweiseitige Ausladung kann nicht aus dem Körper des hölzernen Pfostens gebildet sein, sondern muss durch anderweitig angefügte Verbandstücke bewirkt werden, welche demnach das Kapitäl des Pfostens bilden helfen. Ebenso steht der Pfosten häufig auf einem Steinsockel, welcher dann eine Ausladung und eigene Gestaltung erhalten kann, s. Fig. 606, welche die einfachste Gestaltung eines Pfostens von polygonaler Grundform darstellt. Es kann darin die Schräge, bei *a* und *b* in reicherer Weise ersetzt werden durch Gliederungen, welche entweder in wagerechten oder auf- und absteigenden Linien (s. Fig. 607) geführt werden können, ferner durch kapitälartige Gestaltungen (s. Fig. 608), welche wieder mit Blattwerk geschmückt sein können, und durch Versetzungen der Grundform, wofür die Fig. 609 ein einfaches Beispiel giebt, während reichere sich nach dem oben Gesagten leicht entwickeln lassen werden.

Beim Entwerfen ist mit den Ausladungen hauszuhalten, und sind diejenigen Formen zu bevorzugen, welche sich dem Materiale am besten anpassen, welche vorherrschend durch einfache Schnitte gebildet werden können und möglichst das Stehenbleiben von nach allen Seiten tief durchschnittenen Faserteilen, sowie das Schneiden und Stechen gegen den Span vermeiden. Die handwerkliche Bearbeitung aller solcher Details, welche mit den verschiedenartig geformten, ebenen und hohlen Stemmeisen aus freier Hand geschieht, erleichtert die Ausführung gebogener Flächen im Gegensatze zu der mit Schlägel und Echen geschehenden Bearbeitung des Steines, welche zunächst eine ebene Fläche hervorbringt. Ferner ist zu berücksichtigen, dass von allen Teilen des Pfostens der eigentliche Leib desselben, der Stamm, den kleinsten Durchmesser haben muss, dass also keine Gliederung in die Flucht desselben einschneiden darf, wie Fig. 610 fälschlich zeigt, weil sonst

eine schwache, das Durchbrechen begünstigende Stelle gebildet würde, die besonders fehlerhaft in mittlerer Höhe sein würde.

Reichere Gestaltungen liefern aus der Masse des Stammes stehenbleibende Kapitäle oder Ringe. Für das Kapitäl ergiebt sich eine Funktion durch die Anordnung von Kopfbügen, die dann auf dem Vorsprunge aufsitzen, mit einem Zapfen in den Pfosten fassen und eine weitere Versatzung entbehrlich machen (s. Fig. 611). Wenn, wie es die gewöhnlichen Verhältnisse mit sich bringen, die Kopfbügen nur in einer Richtung sich finden, so kann der obere Kapitälrand zwischen denselben eine andere Behandlung erhalten, einfachsten Falles nach oben mit einem Wasserschlage oder einer Gliederung abschliessen. Statt der den ganzen Stamm umziehenden Kapitäle können auch nur unter den Kopfbügen Unterstützungen aus der Masse des Stammes stehen bleiben (s. Fig. 617 und 617a).

Ferner können entweder in der Mitte des Pfostens oder in anderweitig normierten Abständen gegliederte oder verzierte Ringe stehen bleiben, deren Bedeutung allerdings mehr dekorativ, aber dadurch begründet ist, dass der Stamm die Ausladung hergiebt und so durch dieselbe die Herstellung des Pfostens aus einem Stücke dargelegt wird, siehe *g* in Fig. 611.

Vierkantiger Pfosten.

Dieselben Gestaltungen wiederholen sich bei den aus geschnittenem Holze gebildeten Pfosten von viereckiger Grundform, nur dass hier ein neues Motiv in der Notwendigkeit der Abfasung hinzutritt. Die Abfasung kann einfach oder gegliedert sein, oder auch den Übergang ins Polygon bewirken. Die Übergänge in die rechtwinkelige Ecke können entweder im Kapitäle und Sockel (s. Fig. 612 und 612a), oder unterhalb und oberhalb bewirkt werden. Auch findet sich zuweilen die eine ganz eigentümliche Wirkung hervorbringende, in der Fig. 613 angegebene Behandlungsweise, wonach die Fasen, anstatt unterhalb und oberhalb der Kapitäl- und Sockelgliederungen in die Grundform zurückzugehen, durch beide Teile hindurch gestochen sind und erst jenseits derselben sich absetzten.

Art der Behandlung.

Bereicherungen ergeben sich durch Verbindung der Gliederungen und Kapitäle mit Zierbändern von Masswerk oder Laubwerk, lassen sich indes auch in einfacherer Weise durch fasenartige Schnitte erzielen (s. *g* in Fig. 611), ferner durch Verzierung der oberhalb der Kapitäle stehenbleibenden Flächen. Das Ornament kann dann entweder in diese Flächen eingeschnitten sein, oder wenn die Fläche bereits von der äussersten Flucht des Pfeilers zurückgesetzt ist, durch vortretende Wappenschilder, Spruchbänder, Köpfe, Laub- oder Masswerk sowie Kerbschnitte, Fig. 614, gebildet werden.

Ebenso können auch die Seitenflächen des Pfostens auf ihre ganze Höhe verziert werden durch aufliegende Zweige, durch vertiefte, masswerkartig abschliessende Felder oder in der Weise der Spätgotik durch Windungen und die sich durch eine Zusammensetzung der letzteren bildenden reicheren Muster. Eine Beibehaltung der Verjüngung, welche sich in freilich sehr geringem Masse aus der ursprünglichen Form des Stammes ergeben würde, findet sich nur an späten Beispielen; so unter jenen, den älteren Kirchen im Laufe des XVI. Jahrhunderts häufig eingebauten Emporbühnen, deren Ständer bis in die Mitte des XVII. Jahrhunderts hinein ihren ursprünglichen Charakter bewahrt haben. Nach denselben

Gesetzen wie diese Pfosten gestalten sich auch jene kleineren Galleriesäulchen, Docken usw., für welche die moderne Kunst die gedrehten Balüster eingeführt hat, welche in den gewöhnlichen Bauausführungen die Treppengeländer bilden und wie die Hufnägel nach dem Schock verkauft werden.

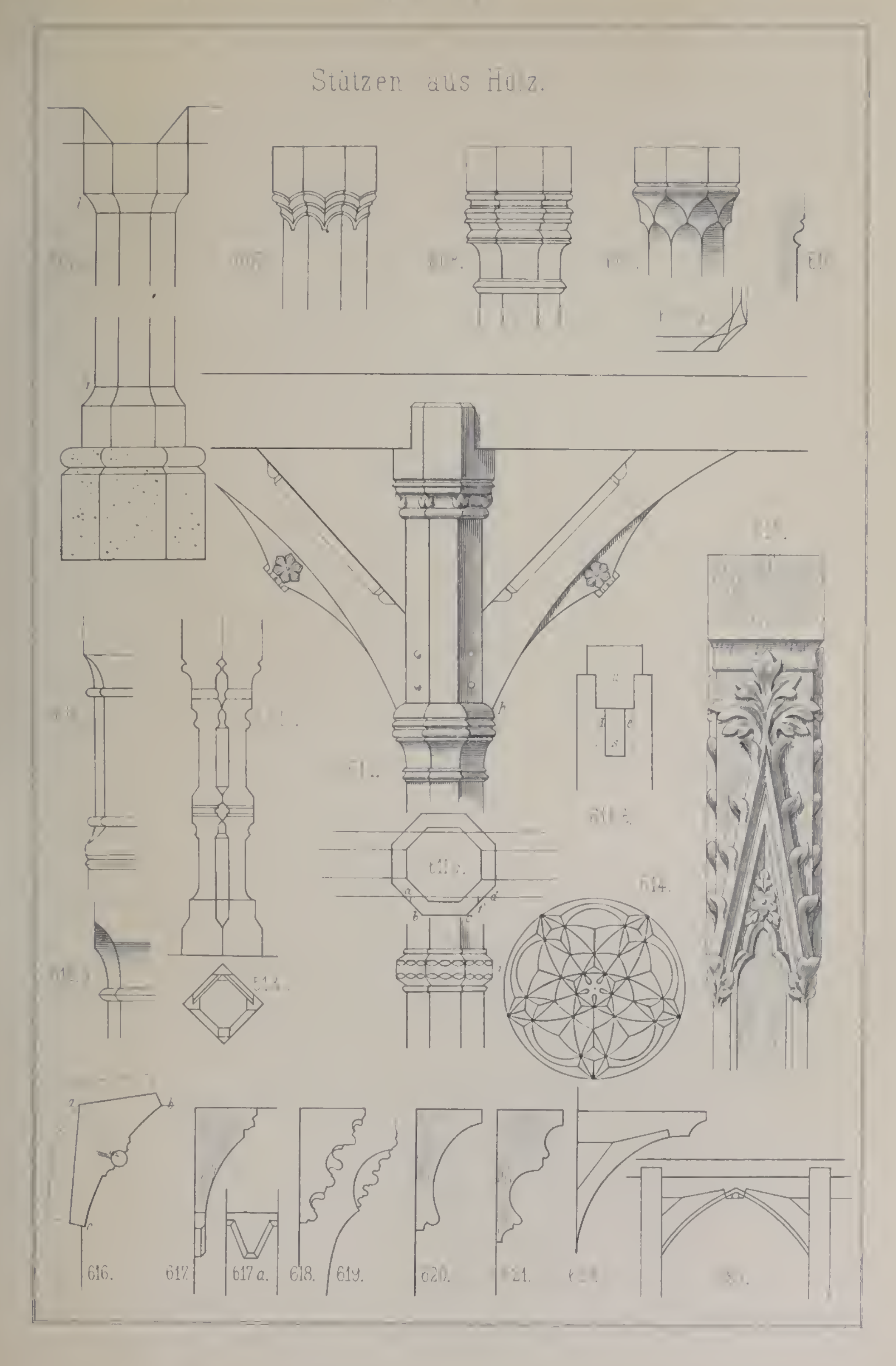
Wie die Eigentümlichkeit der Holzbearbeitung auf eine mehr ornamentale Behandlung der einzelnen Teile hinweist, so wurden zuletzt gewisse ursprünglich struktive Formen des Steinbaues als Motive der Verzierung benutzt und dem Holzstücke gleichsam aufgezeichnet. So können flach gehaltene Fialen oder Wimperge einer oder mehreren Flächen des Ständers aufliegen, siehe Fig. 615, ja, es können in solcher Weise geradehin Nachbildungen der reichsten Steinarchitektur bewirkt werden, indem Pfeiler und Fialen nach ihren vollen Grundformen den Seitenflächen des Ständers vorliegen und aus einem Überschusse an Holzstärke gestochen sind. Es können dieselben dann auf dem Steinsockel aufsitzen oder vor den Flächen ausgekragt sein, nach oben hin aber mit gewissen, gleichfalls vor der Flucht der Unterzüge oder sonstiger Verbandteile vorspringenden Gesims- oder Wimpergbildungen in Verbindung treten und somit eine der eigentlichen Konstruktion aufliegende dekorative Architektur bilden, dabei aber eine überaus reiche Wirkung hervorbringen. Solche, allerdings die späteste Periode in ihrer Detailbildung anzeigende Dekoration findet sich auch an Wandständern und zwar besonders häufig in den Städten der Normandie.

Aber auch die antike Karyatide kommt im Holzbaue zur Verwendung. So finden sich unter einem Vorbaue des Rathauses in Treffurt freistehende Ständer, welche menschliche Figuren darstellen, mit Rücksicht auf die Verhältnisse des Ständers in gestrecktem Verhältnisse und, um jede übermässige Schwächung zu vermeiden, in sehr kompakter Behandlung. Die Wirkung, welche sie hervorbringen, ist allerdings eine sehr originelle, mehr die eines guten Scherzes. Die gotische Kunst mengt, wie das Leben, gern einen Scherz dem Ernste bei, nichts ist ihr fremder als der Kothurn, der über jeden humoristischen Zustand stolpert.

Die Ständer halten entweder Flucht mit dem Unterzuge oder treten zu beiden Seiten über denselben hervor. Im ersteren Falle setzen sie sich mit einem Zapfen hinein, im zweiten liegt der Unterzug in einer Gabel. Bei polygonaler Grundform (s. Fig. 611) würden die Wangen der letzteren durch die Teile *a b c d* Fig. 611a gebildet werden. In der Regel werden jedoch die Kanten *a* und *d*, wie bei *f* angegeben, gefast. Soll unter dem Unterzuge noch ein Sattelholz angebracht werden, so kann das Profil dieser Gabel nach Fig. 611b gebildet und das Sattelholz, wenn dessen Stärke über *d e* hinausgeht, ausgeschnitten werden. Ebenso kann auch der Unterzug, soweit er in der Gabel liegt, ausgeschnitten werden und dann mit einer geringen Breite noch auf den Wangen der Gabel aufliegen. In Fig. 611b bezeichnet *s* das Sattelholz, dessen volle Stärke durch die punktierten Linien angegeben ist, *u* den Unterzug.

Knaggen.

Beide, Unterzug oder Sattelholz, werden nach dem Pfosten hin gestützt durch Knaggen oder Kopfbügen. Die Knaggen erhalten selten die Breite des Unterzuges, meist eine geringere und setzen sich entweder in Unterzug und Pfosten mit Zapfen und Versatzung, oder sind stumpf in den zwischen beiden sich ergebenden, rechten Winkel eingesetzt und an den Pfosten genagelt, oder fassen nur in den Unterzug mit einem Zapfen. Im ersteren Falle ist das Dreieck


Stützen aus Holz.
614.
616.
617.
617 a.
618.
619.
620.
621.



a b c in Fig. 616 die Grundform, aus welcher sich für das eigentliche Profil zunächst eine flache Kurve ergiebt, in deren Mitte in der Regel eine nach der Breite durchgestochene Gliederung (s. Fig. 616), eine nasenartige Gestaltung oder eine mehr oder weniger verzierte Scheibe stehen bleibt, um die übermässige Schwächung des Holzes zu vermeiden. Aus dem zur Bildung der Kurve wegzuarbeitenden Holze findet sich dann zuweilen irgend ein Pflanzen-Ornament gebildet, oder eine Tiergestaltung, welche dem Grunde aufliegt.

Die Knagge kann oben oder unten durch eine Gliederung verstärkt werden (s. Fig. 617), die sich zuweilen auch über die ganze Vorderfläche der Knagge fortsetzt (Fig. 618). Häufig sind dann einzelne Glieder von den Seitenflächen abgesetzt, so in Fig. 616 der Kreis und in Fig. 619 die mittlere Gliederung. Die Rundstäbe sind ferner zuweilen durch Kannelierungen, Windungen oder lotrechte Einschnitte, die Kehlen durch Rosetten oder Scheiben verziert. Ebenso finden sich oft an den Seitenflächen Rosetten, Wappenschilder, masswerkverzierte Kreise u. dgl. eingestochen.

Wenn die Knaggen an den Pfosten genagelt sind, so muss das Profil derselben derartig sein, dass der Nagel keine übermässige Länge zu haben braucht, muss sich daher auf eine kurze Strecke der lotrechten Pfostenflucht in Abstand und Richtung nähern, während es unterhalb des Nagels sich auch wieder herausschwingen kann (s. Fig. 620 und 621). An den Knaggen dieser letzteren Art ist die Richtung der Holzfasern häufig lotrecht genommen.

Kopfbügen.

Die Kopfbügen setzen sich mit Versatzung und Zapfen in Unterzug und Pfosten, oder sind, wenn sie mit beiden Teilen gleiches Breitenmass halten, auch wohl daran angeblattet. Fig. 611 zeigt bei *h*, wie die Versatzung durch die Kapitälanordnung ersetzt wird. Ebendaselbst schreibt nach einer an vielen Orten, so an den Fleischbänken zu Frankfurt, in den Klosterbauten zu Haina und Eberbach vorkommenden Anordnung das Mass des abgesetzten Achteckes die Breite der Kopfbügen vor. Soll dieselbe eine grössere werden, so würde der Pfosten am Ansatze der Bügen in die viereckige Grundform zurückgehen müssen.

Die Kopfbügen werden aus sogenannten Krümmlingen (krumm gewachsenem) oder aus geradem Holze gebildet. Im ersteren Falle ist die Kurve für beide Seiten vorgeschrieben und kann etwa durch Abfasen oder Kehlen der Kanten eine reichere Gestalt erhalten. Im letzterem Falle bleibt der Rücken geradlinig, während über die untere Linie, das eigentliche Profil, alles bereits hinsichtlich der Knaggen Gesagte seine Geltung behält. Nur bringt es die grössere Länge der Bogen mit sich, dass eine über die ganze Vorderseite sich fortsetzende Gliederung, wie an Fig. 618, weniger passend erscheint und eine Bogenlinie, wobei die Mitte der Büge wieder eine der bei den Knaggen angeführten Verstärkungen*) erhält oder auch eine zusammengesetzte Bogenlinie vorherrschend ist. Ebenso kann die Büge geradlinig bleiben, und ihre Unterseite durch eine vor den Anschlüssen an Unterzug und Pfosten ins Viereck zurückgehende Profilierung gegliedert werden.

*) Bei VERDIER und im dict. d'arch. von VIOLLET-LE-DUC finden sich Beispiele, wo diese dann in Drachengestaltungen bestehenden Verstärkungen den eigentlichen Körper der Büge ausmachen, so dass die Bogenlinie beinahe den geraden Rücken berührt.

Besonders unglücklich erscheinen die an den modernen Holzarchitekturen so beliebten Gliederungen, deren hauptsächliches Element in jener in Fig. 695 dargestellten antikisierenden Konsolenkurve besteht, welche dann entweder einfach verwandt, oder verdoppelt, oder durch Zwischenglieder getrennt wird. Es straft sich hierbei ein in der modernen Architektur auch sonst geläufiges Verfahren, wonach man Elemente der verschiedenartigsten Stile in einem von dem ursprünglichen völlig abweichenden Sinne verwendet, mit dem geheimen Hintergedanken, zu dem erhofften neuen Baustile einen Stein herbeigetragen zu haben.

Sattelhölzer.

Die Kopfbügen stehen in der Regel in Verbindung mit einem Sattelholze. Ihre Zusammengehörigkeit spricht sich am deutlichsten dadurch aus, dass ihre Bogenlinie sich bisweilen über das Sattelholz fortsetzt und die Versatzung in radiale Richtung gelegt wird (s. Fig. 622). Zuweilen wird das Sattelholz zu einem von Pfosten zu Pfosten durchgehenden zweiten Unterzuge, welcher eine geringere Breite hat als der obere und zu beiden Seiten in den Pfosten verzapft ist. In diesem Falle können die Bogenlinien der beiden Kopfbügen über diesen zweiten Unterzug in der Weise fortgeführt werden, dass sie sich in der Mitte derselben zu einem Halbkreise, Spitzbogen oder einer Schweifung vereinigen, so dass die Scheitel der Bogenlinien aus dem Unterzuge herausgestochen werden. Die hier abzuarbeitenden Holzteile können dann, wie bei den Knaggen, zu irgend einer Gliederung oder einem sonstigen Ornamente benutzt werden (s. Fig. 623).

6. Kragsteine, Tragsteine und Auskragungen.

Allgemeines, Statisches.

Ein Unterschied zwischen Kragstein und Tragstein ist dem Wesen nach nicht vorhanden. Durch ersteres Wort wird die Beziehung des betreffenden Werkstückes zu der Mauer oder dem Pfeiler, welchem es eingebunden ist, durch letzteres seine Bestimmung im allgemeinen bezeichnet. Die hierdurch entstandene Unsicherheit scheint die Aufnahme der in Deutschand so beliebten Bezeichnung „Konsole“ begünstigt zu haben.

Zweck und Einteilung.

Der Form nach kann man „zentral“ und „einseitig“ gebildete Kragsteine unterscheiden, erstere nehmen ihre Entwickelung von einem unteren Punkte aus und bilden im oberen Grundrisse gewöhnlich den Teil eines Polygones, die einseitigen Auskragungen haben dagegen einen rechteckigen Grundriss.

Die den Kragsteinen zufallende Aufgabe kann mannigfacher Natur sein, sie können das Auflager für Steinsturze oder Holzbalken liefern, sie können Gewölbeglieder oder Dienste aufnehmen und schliesslich zum Tragen von Standbildern u. dergl. bestimmt sein. Besonders vielseitig ist ihre Verwendung für die Gewölbeanfänge. Schon in romanischer Zeit treten in Kirchen, noch mehr aber in Klöstern und Profanbauten an Stelle der bis unten herabgeführten Dienste sehr oft Auskragungen auf, welche entweder vermittelst eines kürzeren Dienstes (Fig. 665, 666) oder auch ganz unmittelbar die Gewölbeanfänge aufnehmen (Fig. 654—658). Dass statisch meist nichts dagegen einzuwenden ist, das untere Stück der Dienste, in Sonderheit der Wanddienste fortzulassen, ist schon weiter oben (Widerlager, S. 129 und Fig. 343) ausgeführt. Der Wölbdruck pflegt schon ein merkliches Stück oberhalb der Bogengrundlinie in schräger Richtung in die Mauer

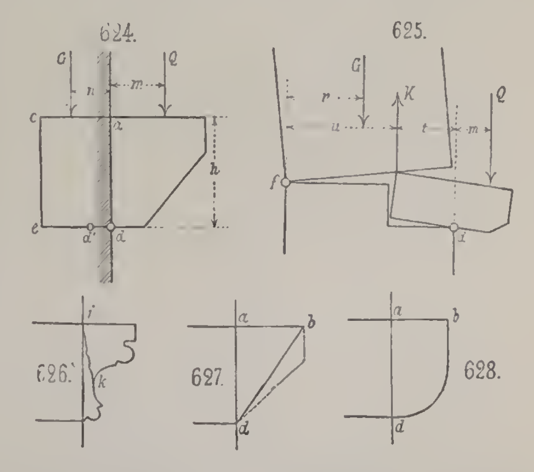
überzugehen. Das Kapitäl eines kleinen Dienstes oder ein jenes vertretender Kragstein wird durch den Wölbdruck gemeiniglich gar nicht mehr berührt, so dass diese Glieder mehr eine architektonische denn eine statische Aufgabe erfüllen. Dagegen ist die Beanspruchung der Kragsteine unter Balken, Unterzügen usf. bedeutungsvoll genug, um eine nähere Untersuchung zu erheischen.

Statisch betrachtet kommen drei Möglichkeiten in Frage, der eingemauerte Kragstein (vergl. Fig. 624) kann unter dem Einflusse der Last um die untere Kante *d* aufkippen, er kann nach der Fläche *a d* abgeschert werden und er kann schliesslich abbrechen.

1. Sicherung gegen Kippen. Die Belastung Q sucht den Stein um die Kante d zu drehen, dagegen wird er am Aufkippen verhindert durch das Gewicht G des auf dem eingreifenden Ansatze *a c e d* ruhenden Mauerwerkes. Damit der Stein gesichert liegt, muss sein:

$$G \cdot n > Q \cdot m.$$

Demnach ist ein grosses Gewicht der auflastenden Mauer und ein langer Eingriff *a c* des Steines von Nutzen. Zur Sicherheit lege man bei der Berechnung den Drehpunkt d nicht in die Flucht der Mauer, sondern einige Zentimeter weiter zurück nach d'. Eine gute Auflagerung des Steines ist an dieser Stelle von grösster Wichtigkeit, auch die obere Fuge *a c* muss gebührende Beachtung finden. Ist die Kippgefahr gross, so muss durch guten Verband oberhalb des Steines ein möglichst grosses Stück des Mauerwerkes zum Belasten herangezogen werden. Wenn angenommen werden kann, dass die obere Mauer in ihrer ganzen Stärke als ein zusammen hängender Körper wirkt, so kann der nachstehende Rechnungsgang eingeschlagen werden, der ein günstigeres Ergebnis liefert (vergl. Fig. 625).



Der Kragstein sucht mit der nach oben gerichteten Kraft K die Mauer um den Punkt f zu kippen. Um dieses zu verhüten, muss sein:

$$G \cdot r > K \cdot u.$$

Nun ist aber $K \cdot t = Q \cdot m$ oder $K = Q \cdot m : t$, dieses eingesetzt giebt:

$$G \cdot r > \frac{Q \cdot m \cdot u}{t} \text{ oder:}$$

$$\frac{G \cdot r \cdot t}{u} > Q \cdot m.$$

Auch hier empfiehlt es sich, zur Sicherheit den Hebel t in der Berechnung etwas kürzer anzunehmen, als er wirklich ist.

2. Sicherheit gegen Abscheren. Es kommt ein Abscheren oder Abdrücken des Steines besonders dann in Frage, wenn die Last Q (Fig. 624) dicht an der Wand liegt. Die Beanspruchung auf Abscherung findet man sehr einfach, indem man die Last Q (in kg ausgedrückt) durch den Flächeninhalt der Scherfläche *a d* (in qcm) teilt. Die so erhaltene Beanspruchung eines qcm darf die zulässige Grenze nicht überschreiten, die bei Steinmaterial sehr niedrig liegt. Unter Annahme der üblichen Sicherheit darf man jedem qcm Ziegel oder Sandstein je nach Beschaffenheit nur $1^1/_2$ bis 4 kg, einem qcm Kalkstein 3—6 kg und einem qcm Granit 5—10 kg zumuten.

Beispiel: Der in der Wandflucht liegende Querschnitt eines Tragsteines ist seiner erforderlichen Grösse nach zu ermitteln, wenn derselbe eine Last von 4500 kg zu tragen hat und als Material ein guter Sandstein mit 3 kg zulässiger Scherbeanspruchung auf 1 qcm vorgesehen ist. Nach obigem berechnet sich der Querschnitt sehr einfach zu 4500 : 3 = 1500 qcm, man würde also den Stein 30 cm breit und 50 cm hoch machen können.

Wenn ein Tragstein ein sehr schlankes Profil hat, so ist nicht zu übersehen, dass die Abscherung nach einer kürzeren Fläche *i k* (Fig. 626) erfolgen kann.

3. Sicherheit gegen Abbrechen (Beanspruchung auf Biegung). Ein Zerbrechen durch Biegung tritt leicht ein, da die Zugfestigkeit der meisten Steine noch unter der Scherfestigkeit liegt. Sind beide gleich, so wird schon bei einem Hebelarme der Last Q von mehr als $^1/_6$ der Kragsteinhöhe leichter ein Abbrechen eintreten als ein Abscheren.

Eine Berechnung lässt sich nach der bekannten Formel anstellen: $W = M : s$. Darin ist:

M das Biegungsmoment (in Fig. 624 : $Q \cdot m$),

s die zulässige Beanspruchung, die bei Stein sich vorwiegend nach der geringeren Zugfestigkeit richtet und je nach Beschaffenheit des Steinmateriales zu 2—10 kg auf 1 qcm angenommen werden kann.

W das Widerstandsmoment der an der Wand anhaftenden Querschnittsfläche (für ein Rechteck: $^1/_6\, b \cdot h^2$, Dreieck: $^1/_{12}\, b \cdot h^2$).

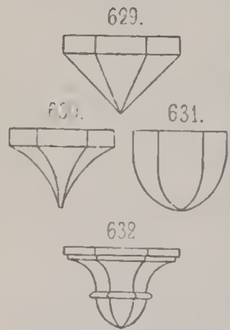
Selbstverständlich darf kein rissiger brüchiger Stein, sondern nur ein guter zugfester Baustoff für Kragsteine von Bedeutung gewählt werden.

Als Faustregel kann man annehmen, dass ein Kragstein aus mässig gutem Stoffe, dessen Ausladung die Höhe nicht überschreitet, in der Wandebene einen Querschnitt haben muss, der (mindestens) so viel qcm hält, wie die von ihm getragene Last Kilogramm beträgt.

Bei einem nach Fig. 626 gebildeten Kragsteinprofile würde natürlich wieder ein Abbrechen nach der kürzeren Fläche *i k* zu fürchten sein. Soll der Stein statisch vollkommen richtig geformt sein, so darf zwischen der Wand und der äussersten Kante kein Querschnitt zu finden sein, nach welchem der Stein leichter brechen könnte als an der Wurzel. Dazu ist aber, je nachdem eine Einzellast oder fortlaufende Belastung vorliegt, mindestens das Dreiecksprofil Fig. 627 erforderlich und ein gebauchtes Profil Fig. 628 günstig. Statt des Dreieckes Fig. 627 empfiehlt sich mehr das punktiert angedeutete Trapez mit Rücksicht auf Stösse gegen die Vorderkante, Fehler im Steine und schräg laufende Bruchflächen. Der Grundform Fig. 627 kann überhaupt in beliebiger Weise Masse zugegeben werden, ein stärkeres Einschneiden in diesen Umriss ist dagegen ungünstig.

Höhenverhältnis.

Über das Verhältnis zwischen Ausladung und Höhe lässt sich nach vorstehendem keine Angabe machen; je grösser die Last ist, um so höher wird der Kragstein werden. Dass den Gewölbeanfängen bisweilen niedere Kragsteine sich unterstellt finden, kommt, wie schon angegeben, daher, dass der ganze Anfang die Aufgabe des Kragsteines mit übernimmt. Bei weit vorspringenden Gurtbogen bekommt die Auskragung allerdings ihre Aufgabe zugewiesen und erfordert eine entsprechend grosse Höhe.



Meist liegt das Verhältnis von Ausladung zur Höhe zwischen 1 : 1 und 1 : 2, übersteigt auch selbst letzteres Mass. Will man geometrische Beziehungen suchen, so kann beispielsweise die Höhe der Diagonale des aus der Ausladung konstruierten Quadrates oder der Diagonale aus dem Würfel entsprechen.

Zentral gebildete Kragsteine.

Die einfachste Form eines zentral gebildeten Kragsteines ist die Hälfte eines umgekehrten Kegels oder einer umgekehrten Pyramide (Fig. 629), die durch ein Krümmen der Seiten in die Formen 630 und 631 übergehen kann. Durch Vereinigung zweier solcher Formen bildet sich ein zusammengesetzter Kragstein nach Art der Fig. 632.

Die am häufigsten vorkommende Aufgabe der zentralen Kragsteine besteht

darin, einen Ersatz für die Dienste zu bilden, also die Rippenanfänge zu tragen, demnach entspricht ihre obere Fläche derjenigen der Dienstkapitäle. Diese Übereinstimmung mit der Funktion der Dienste spricht sich am deutlichsten aus, wenn der Kragstein die Gestalt eines Dienstkapitäles annimmt, dessen untere, wagerechte, runde Lagerfläche dann durch irgend eine ornamentale Gestaltung ausgefüllt wird, um eben den Charakter der Lagerfläche zu entfernen, s. Fig. 633 aus der Kirche in Haina und 635 aus der Stiftskirche in Wetzlar, in welcher letzteren schon der Übergang in das Viereck bewirkt ist. Die Umbildung der unteren Lagerfläche darf also als das charakteristische, den Kragstein vom Kapitäle unterscheidende Moment angesehen werden.

Zwischen dem Kapitäl und dem ausgesprochenen Kragsteine sind verschiedene Zwischenstufen wahrzunehmen, eine solche zeigt sich in dem in Fig. 634 dargestellten, dem wenig späteren Schiffe der Kirche in Haina entnommenen Kragstein, an welchem die an dem unteren Kapitälrande angesteckten Blätter zum Teil an den Seitenflächen des Kapitäles hinaufwachsen, zum Teil aber sich nach unten umbiegen, den Astragal verhüllen oder durch ihren eigenen Körper ersetzen und so die untere wagerechte Fläche bedecken. Die ebenflächige Gestalt der Unterfläche geht in dem Masse verloren, als das Ornament eine bewegtere Modellierung erhält, ganz entschieden aber in dem in Fig. 636 der Kirche in Volkmarsen entnommenen Beispiele, wo der Astragal und die die Unterfläche des Kapitäles bedeckende Rosette eine schräge Lage angenommen haben.

Wenn in Fig. 634 schon der Unterschied zwischen Seitenfläche und Unterfläche in der Behandlung verschwindet, so ist das noch mehr der Fall, wenn der Astragal durch einen am unteren Rande herumgelegten Zweig oder ein Flechtwerk ersetzt wird, von welchem aus die Blätter nach beiden Seiten wachsen. Es verschwindet aber jede Übereinstimmung mit dem Kapitäle, sobald von dem unteren Ende aus das Laubwerk über den ganzen Kragstein sich ausbreitet und an dem vom Laubwerke überzogenen Kerne die untere Kante sich abrundet, wie Fig. 637 in einem der Predigerkirche in Erfurt entnommenen Beispiele zeigt. An einfacheren Kragsteinen fällt auch die Ausbiegung des oberen Randes und somit jeder Anklang an die Kelchform des Kapitäles weg (Fig. 639). Der Kern wird entweder durch die daranliegenden Blätter verdeckt, wie in Fig. 638, oder aber in völliger Entschiedenheit zwischen denselben sichtbar, wie in Fig. 639 aus dem spätgotischen Kreuzgange der Stiftskirche in Fritzlar.

Einfach gegliederte Kragsteine.

Ein ähnlicher Übergang wird gewonnen aus der Kapitälform durch eine Verkleinerung der unteren Lagerfläche, also durch eine Veränderung der Ausladungslinie des Kapitäles, wie Fig. 640 zeigt. Nach diesem Prinzipe sind die Figuren 641 und 642 gestaltet, erstere aus der Vorhalle der Stiftskirche in Fritzlar, letztere aus dem Schiffe der Kirche in Haina. So lässt sich eine Stufenleiter vom Kapitäle bis zum einfachsten Kragsteine verfolgen. Der letztere kann ausser den unter 629—631 angegebenen Formen auch die Profillinien 643 und 644 aufweisen. Durch Abfasen der Kanten ergiebt sich die einfache aber ansprechende Form von Fig. 645. Durch mannigfache Profilierungen können Formen entstehen, wie sie die Fig. 646—653 in Schnitt oder Ansicht zeigen.

Zusammengesetzte Kragsteine.

Kragsteinbildungen von grösserer Höhe werden in der Regel gewonnen durch eine Verbindung von zwei oder mehreren deutlich geschiedenen Teilen, wie Fig. 632 andeutet.

Einfachsten Falles ist der obere Teil ein kapitälartiger Körper, dem unten eine einfache Kragsteinbildung unterstellt ist, vergl. Fig. 657 aus dem Domkreuzgange zu Riga.

Der Charakter verändert sich, je nachdem das Kapitäl vorwiegt oder der untergeschobene Kragstein. Im ersteren Falle bildet der untere Teil häufig nur eine Fortführung der Gliederung des Astragales, wie in Fig. 658 und 635; in letzterem Falle bildet der eigentliche Kragstein häufig vorherrschend eine einseitige Ausladung zur Überleitung einer mehr konzentrischen Fläche für das darauf stehende Kapitäl. Derartige Beispiele zeigen die Figuren 656 von dem Lettner der Stiftskirche zu Oberwesel und 654 und 655 aus dem nördlichen Seitenschiffe der Klosterkirche in Haina.

Die letzteren, welche die oberhalb der Sohle der oberen Fensterreihe aufsitzenden Dienste tragen, sind von ganz besonderem Interesse durch die Schönheit ihrer Behandlung, von welcher der kleine Massstab unserer Figur uns nur einen ungefähren Begriff zu geben gestattet. Zudem bringt ihre Lage in der Höhe des unter der Fenstersohle sich herumziehenden Simses eine Eigentümlichkeit mit sich, auf welche aufmerksam zu machen wir uns nicht enthalten können. Anstatt dass sich jenes Gesims, wie dies z. B. im Sinne der modernen Architektur liegen würde, um die Kragsteine etwa als abschliessendes Glied herumkröpfen und so in gleicher Gestaltung verschiedenen Zwecken dienen würde, läuft dasselbe in das Kapitäl der Auskragung (Fig. 654) hinein, dessen Blätter sich in äusserst zierlicher Weise um den Gesimsrand biegen, während der Abakus hierdurch über das Gesims gerückt wird und in den Wasserschlag desselben schneidet, so dass die Dienstsockel völlig frei zu liegen kommen (vgl. Fig. 655).

Der mit Blättern umstellte Körper in Fig. 654 kann ebensowohl als herumgezogenes Gesims denn als Kapitäl gelten. Überhaupt ist die Gestaltung solcher mit Laubwerk besetzten Gesimsglieder der der Kapitälkörper so nahe verwandt, dass sie als niedrige Kapitäle angesehen werden können, wie der Vergleich von Fig. 658 zu Fig. 659 erweist.

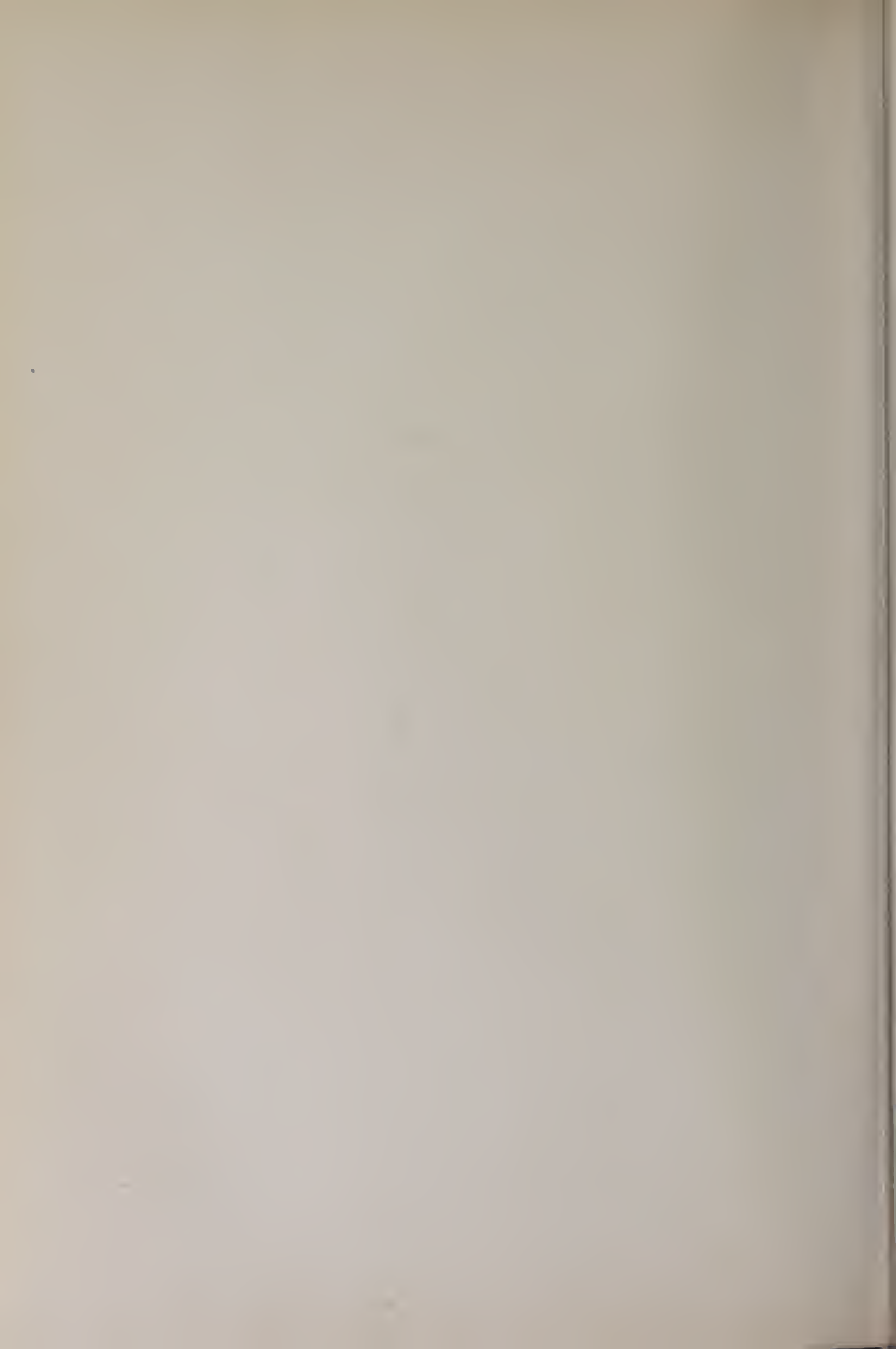
Ausbildung der Kragsteine.

Figürliche Gestaltungen, wie Tiere, Köpfe usw., kommen in verschiedener Weise in Anwendung. Sie können, wie in Fig. 654, vor dem Körper der Auskragung sitzen, oder, wie in Fig. 656, denselben bilden, oder sie können, in kleinerem Massstabe verwendet, nur die Endung des Kragsteines abgeben. Die Figuren 660 und 661 zeigen Beispiele letzterer Art aus der Kirche in Frankenberg. Köpfe können auch ohne darauf sitzendes Kapitäl den Kragstein abgeben und dann entweder von einem Gesimsrande, einem Stirnreifen usw. nach oben abgeschlossen, oder einfach wagerecht abgeschnitten sein und auf der oberen Grundfläche die Rippen tragen, oder aber mit dem von ihnen herauswachsenden Laubwerke als Laubköpfe den Kragstein bilden.

Dass figürlichen Bildungen eine Bedeutung zu Grunde liegen muss, haben wir schon oben bemerkt. Bei den zum Tragen von Standbildern dienenden Kragsteinen ergiebt sich dieselbe durch die Beziehung zur Figur. In demselben Sinne können auch Spruchbänder, Wappenschilder usw. in Anwendung kommen (s. Fig. 653, wo durch die punktierten Linien Profil und Lage des Schildes angegeben sind).

Eine die Bedeutung der Figur anzeigende Legende auf Spruchbändern kommt in den alten Werken dem Verständnisse der Figur glücklich zu Hilfe. In neueren Zeiten soll gewöhnlich die


Zentral gebildete Kragsteine
Volkmarsen.
634.
Hain.
640.
641.
Fritzlar.
Wetzlar.
Fritzlar.
644
645.
642.
649.
651.



Charakteristik der Figur selbst diese Erklärung entbehrlich machen, in nicht zu seltenen Fällen aber heisst das Rätsel aufgeben.

Die Anordnung von Standbildern auf Kragsteinen findet sich zuweilen mit der Auskragung des Rippenanfanges in der Weise verbunden, dass letzterer dem über der Figur angebrachten Baldachin aufsitzt, so in der Kirche des Schlosses Marienburg und am Dome zu Minden. Es wird hierdurch der Rippenanfang für das Auge lotrecht fortgeführt und die Wirkung des Dienstes ersetzt.

Die unteren Endungen der Kragsteine sind zuweilen durch blosse Blattbüschel oder Zweige verdeckt, aus welchen dann der kelchartige Körper herauswächst, oder aber es legen sich solche Zweige unmittelbar unter den Rippenanfang und ersetzen den Kragstein. Ein derartiges Beispiel zeigt Fig. 662 aus dem Kreuzgange der Stiftskirche in Fritzlar.

Schon oben bei Fig. 278 haben wir gezeigt, wie durch die beschränkte Grundfläche des dem Bogenanfang unterstehenden Kapitäles die Auskragung einzelner Rippen oder einzelner Teile derselben herbeigeführt werden kann. Ein derartiges, sehr zierliches Beispiel zeigt Fig. 663 aus dem Chore der Kirche in Volkmarsen.

Fig. 663 a stellt das Rippenprofil dar, von welchem nur der Teil *a b c d* Auflager auf dem Kapitäle findet. Vor der Fläche *b c* kragt sich dann zuerst der Stab *b e c* aus, so dass die Rippe die Gestalt *a b e c d* annimmt, aus welcher sie dann durch die oberen im Aufriss angegebenen Auskragungen in ihren wirklichen Durchschnitt *a f g h d* übergeht.

In Fig. 282 haben wir einen auf drei miteinander verbundenen Kragsteinen aufsitzenden Rippenanfang aus dem Erfurter Kreuzgange gegeben. Zuweilen aber führt die Notwendigkeit der Gewinnung grosser Flächen auf mächtigere Verbindungen von verschiedenen Arten der Auskragung, wie sie z. B. der in Fig. 664 dargestellte Bogenanfang in der nordwestlichen Ecke der Kirche zu Wetter zeigt.

Kragsteine mit kurzem Dienst.

Sowie in den Figuren 654—657 eine grössere Mächtigkeit der Kragsteine gewonnen wurde durch Aufsetzen eines Kapitäles, so lässt sich die Grösse noch mehr steigern, wenn ein Teil des durch die Auskragung ersetzten Dienstes oder Wandpfeilers eingeschaltet wird.

Fig. 665 zeigt die ausgekragten Wanddienste im Chore der Minoritenkirche zu Höxter, während Fig. 666 die in fast allen Kirchen Revals wiederkehrende Unterstützung der Gurtbogen darstellt, sie zeigt wie alle dortigen Bauglieder eine durch die Härte des verwendeten Kalksteines bedingte derbe Einfachheit.

Reichere Wanddienste dieser Art finden sich an der westlichen Mauer der Marienkirche zu Mühlhausen unter den Ansätzen der Scheidebogen. Es gehen dieselben aus dem oberen Achtecke, welches der Masse des Bogenanfanges entspricht, in das untere kleinere der gegliederten Auskragung durch mehrere Laubwerkkapitäle über, welche nach vorn eine stärkere Ausladung als nach den Seiten erhalten, so dass die Grundform der Pfeilerteile überall durch fünf Achteckseiten begrenzt bleibt.

Es lässt sich mit Anwendung des seither Gesagten eine endlose Mannigfaltigkeit entwickeln. Als weiteres Beispiel mag die Fig. 667 gelten, welche ein durch alle Perioden der gotischen Kunst wiederkehrendes Motiv enthält.

Nur dann, wenn der Kragstein nach einem Halbkreise oder einem halben

Vorgeschobene Kragsteine.

Polygone gebildet ist, wird seine untere Fläche der oberen geometrisch ähnlich sein: übersteigt die obere Fläche die Hälfte der Grundfigur, so wird die untere dies in noch höherem Grade thun und schliesslich nach der ganzen Figur gebildet sein, die frei vor der Wand oder Pfeilerfläche vorliegt. So ist die obere Fläche in Fig. 654 nach einem Kreisteile von etwa 225° gebildet und es kommt hiernach die untere beinahe auf den vollen Kreis, welcher bei einer bedeutenden Ausladung des Kelches, wie etwa in Fig. 641, von der Wandflucht sich völlig trennen musste.

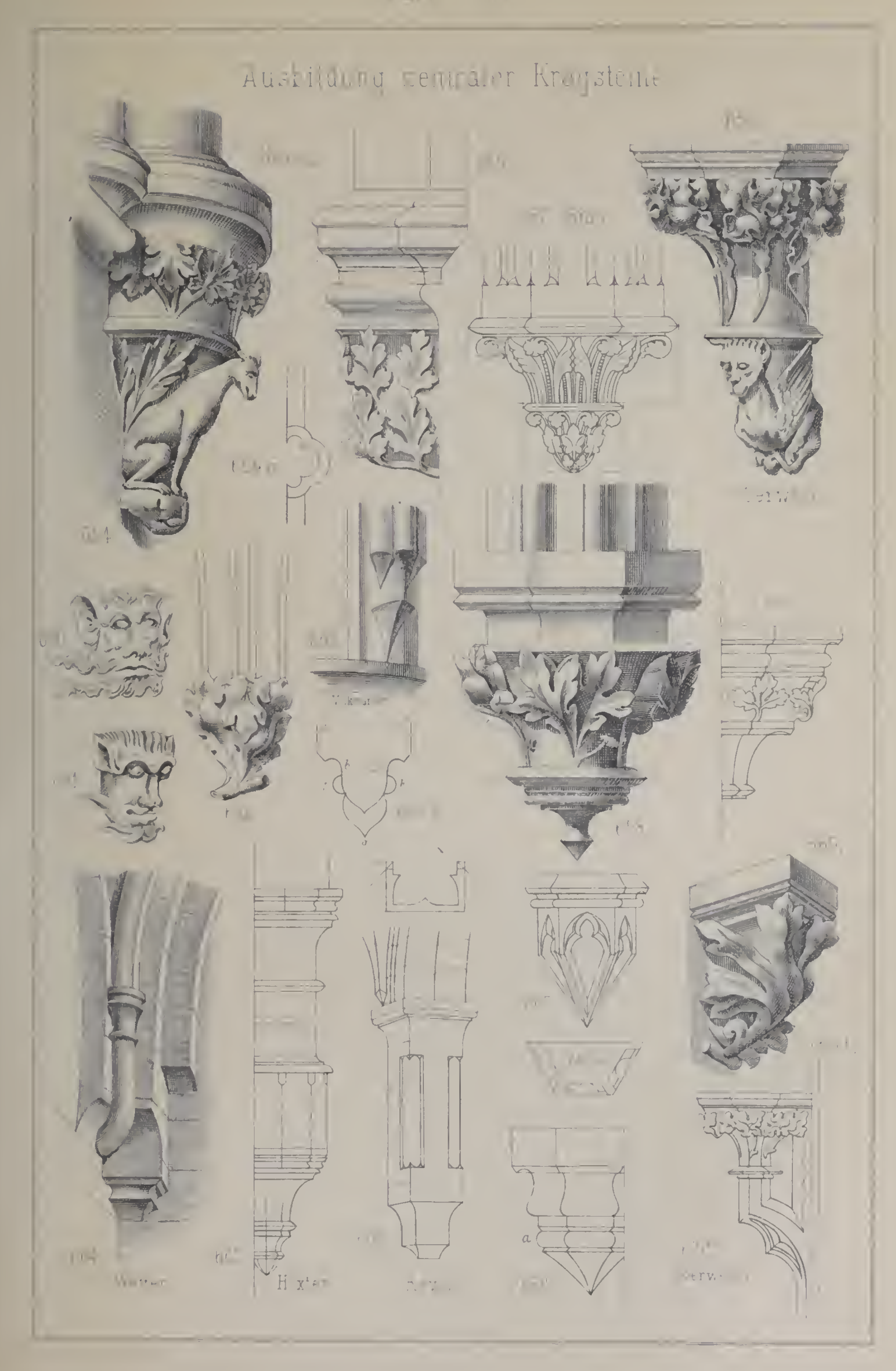
Noch entschiedener tritt dieses Verhältnis zu Tage bei den aus einem Punkte ausladenden Kragsteinbildungen, wie solche die Figuren 668 und 667 zeigen. Hier würde, wie erstere Figur in der Seitenansicht zeigt, der Kragstein unten in eine frei vor der Wandflucht vorhängende Spitze endigen (vergl. auch Fig. 665). Wenn schon solche gleichsam schwebende Knaufe eine besonders kecke Wirkung hervorbringen, so geht doch ein Teil der Höhe des Werkstückes für die Tragkraft unnützerweise verloren. Vermeiden lässt sich aber diese freihangende Spitze, wenn nur in der vorderen Hälfte von der Mittellinie an die Ausladung konzentrisch geschieht, dagegen die rückwärtsgehende Kehrung wegfällt, so dass die Gliederung senkrecht gegen die Wandflucht dringt. Hiernach verwandelt sich dann die Spitze unten in eine wagerecht laufende Kante oder eine Verrundung.

Ein anderes Mittel der Umgestaltung ergiebt sich durch schiefe Ausbildung des Kragsteines, indem die untere Spitze in die Wandflucht gelegt wird, während der Mittelpunkt der oberen Fläche nach vorn gerückt ist. Wenn man diese Lösung auf einen einfachen Kragstein anwendet, welcher hiernach von einem in der Wandfläche liegenden Punkte nach der aus fünf Seiten des Achteckes oder vier des Sechseckes gebildeten oberen Fläche ausladet, so werden die Seitenflächen windschief werden. Sie lassen sich ebensowohl auf einfache als mit Laubwerk versehene Kragsteine anwenden, sie werden aber in letzterem Falle verdeckt durch die davorliegenden Blätter. Beispiele zeigen die Figuren 655 aus der Kirche zu Haina und Fig. 669. Hierher gehört ferner die dem XV. Jahrhunderte besonders geläufige Anordnung, wonach der Kragstein ein mit einem Kapitäle versehenes Säulchen fingiert, dessen Stamm, anstatt lotrecht zu bleiben, mit einem Bogen, zuweilen selbst in wagerechter Richtung aus der Mauerflucht herauskommt und unter dem Kapitäle in die lotrechte umbiegt (s. Fig. 670 vom Lettner der Stiftskirche in Oberwesel).

Die Figuren 669 und 670 sind indes, streng genommen, schon zu den einseitig ausladenden Kragsteinen zu rechnen, zu welchen die letztere auch der Funktion nach gehört.

Einseitig ausladende Kragsteine.

Die einseitigen Auskragungen bilden das Auflager für Mauerlatten, Balken Thür- und Fenstersturze, ferner für die stehenden Steinplatten der Bogenfelder über Thüröffnungen, sodann für die liegenden Platten, welche die Fussboden von Balkons und Erkern oder Wasserrinnen bilden. Ferner dienen sie dazu,


Ausbildung centraler Kragsteine



Bogenanfängen in jeder Richtung zu unterstehen, so dass sie für die schon beschriebenen, konzentrisch gebildeten Kragsteine eintreten oder sich mit denselben verbinden, wie in Fig. 654.

Sie bestehen je nach ihrer Gestaltung und Aufgabe aus einem oder aus mehreren mit der Lagerfläche aufeinander liegenden Werkstücken oder aus einer auf Spalt stehenden Platte.

Als Grundform müssen wir auch hier das dreieckige oder gebauchte Profil Fig. 672 und 671 annehmen. Das Verhältnis der Höhe zur Ausladung wird wechseln müssen, je nach der Zunahme der Belastung.

Allgemeine Form.

Aus Fig. 671 folgt zunächst die Gestaltung des Viertelkreises, welche auch in kleineren Dimensionen oder bei einfacherer Ausführung ohne jeden weiteren Zusatz in Anwendung kommt. Teils um die obere Kante weiter zu verstärken, teils um dem Umstande zu begegnen, dass leicht der Viertelkreis als kleineres Segment erscheinen würde, erhält dieser Kragstein in der Regel einen Zusatz durch das Rechteck *a b c f*, oder es wird ohne Höhenvermehrung der Mittelpunkt aus dem Punkte *a* auf der Linie *a c* weiter nach *c* hin gerückt.

In derselben Weise bekommt der Kragstein nach der einfachen Schräge (Fig. 672), entweder den Zusatz des Rechteckes *a b c f* oder die verkleinerte, parallel *d b* gelegte Schräge, wonach sich der vierte Teil eines Achteckes ergiebt.

Einen leichteren Ausdruck erhält der Kragstein durch eine kehlenartige Bogenform (s. Fig. 673), welche entweder nach *a b*, oder nach *c d*, oder nach *b c* gebildet wird. Durch Abrundung der Ecken bei *c* oder *d* entsteht eine geschweifte Grundform, wie sie z. B. den Kern von Fig. 703 bildet.

Reichere Seitenansichten ergeben sich sodann durch Wiederholungen von gleichen Rundungen, Schrägen oder Kehlen, wie sie die Figuren 674—677 zeigen, oder durch eine Verbindung verschiedener Glieder mit dazwischen befindlichen rechtwinkeligen Plättchen oder ohne dieselben (s. Fig. 678). Sie ergeben sich ferner durch eine bewegtere Gliederung, wie sie z. B. die Figuren 679 und 680 in zwei kleinen, im südlichen Kreuzflügel des Strassburger Münsters befindlichen, zum Auflager der früheren Kunstuhr dienenden Kragsteinen zeigen. Auch hier wie an den oben erklärten Kragsteingliederungen bildet das Dreieck den notwendigen Kern, den man nicht schwächt. In den Gliedern ausserhalb dieser Dreiecksfläche können dann selbst Unterschneidungen vorkommen, wie in den Figuren 679 und 680, obwohl dieselben keinen wirklichen Zweck erfüllen. Für die gute Wirkung der Linie ist es ferner nicht ohne Nutzen, dieselbe irgend einer regulären Hauptform einzubeschreiben, z. B. die Profilierung zwischen zwei Linien einzugrenzen (s. Fig. 681).

Vorderfläche mit vortretendem Steg.

Andere Gestalten ergeben sich durch eine Verbindung verschiedener Kragsteinbildungen nach der Breite, indem z. B. aus der Masse des Werkstückes eines nach einer Kehle gebildeten Kragsteines mitten ein schmälerer Teil vorspringt, welcher auf der vorderen Fläche des Bogens wie ein verstärkender Rücken sitzt (s. Fig. 682).

Anstatt nach einer geringeren Breite kann dieser Rücken auch nach dem in der Breite des ganzen Kragsteines übereck stehenden Quadrate gebildet sein, so dass er sich, wie Fig. 684 zeigt,

allmählich aus der Vorderfläche herausschneidet. Dabei kann die von den Linien *a b* und *b c* begrenzte Masse sich in wagerechter, schräger oder gebogener Richtung aus der Vorderfläche des Kragsteines heraussetzen, wie in derselben Figur, durch zum Teil punktierte Linien, angedeutet ist.

Das Verhältnis des Rückens zum Kragsteine spricht sich am deutlichsten aus, wenn bei einem winkelförmigen Kragsteine der Rücken die wagerechte Fläche nach der lotrechten hin stützt, s. Fig. 685. Soll nun in derselben Weise auch die wagerechte Unterfläche *a b*, um welche der Rücken der Breite nach abgesetzt ist. nach der Seitenfläche des letzteren hin gestützt werden, so tritt eine Fase oder andere auskragende Gliederung hinzu.

Besonders häufig erhält der Rücken eine Nasengestaltung, wenigstens in den späteren Perioden der gotischen Kunst, und zwar in der Regel so, dass die Nase einem Bogen eingesetzt ist, wie in Fig. 686.

Abfasung u. Gliederung der Kanten.

Auch die Kanten einfacher Kragsteine, wie sie in den Figuren 671 bis 678 dargestellt sind, können gefast oder gegliedert werden (s. Fig. 687 bis 689). Diese Gliederung aber darf nur selten durch die obere Lagerfläche gearbeitet werden, sondern muss unterhalb derselben ins Viereck zurückgehen. Ebensowenig darf sie in die Mauermasse eindringen, sondern muss einfachsten Falles sich an der in der Mauerflucht liegenden Fläche *a b c* (Fig. 689) des eingemauerten Teiles des Kragsteines totlaufen. Ebenso ergiebt sich der einfachste Übergang der Gliederung ins Viereck am oberen Ende des Kragsteines dadurch, dass sie durch die vordere Stirnfläche des Kragsteines durchgearbeitet wird, zu welchem Zwecke sie eine von der Linie des Kragsteines abweichende Bewegung annehmen muss, wie in Fig. 689 bei *d e* angegeben ist. Überhaupt aber sind hier alle Arten der Übergänge anwendbar und dadurch die Mittel gegeben, reichere Gestaltungen zu erzielen. Besonders geeignet ist die in Fig. 688 gezeigte Herumführung der Gliederung um die vordere Fläche, wodurch sie zur Ausladung des Kragsteines mit beiträgt.

Kragsteine aus mehreren Schichten.

Die in Fig. 674 gezeigte Übereinanderstellung von Viertelkreisen erhält häufig einen Zusatz durch kleine Zwischenglieder *a* in Fig. 690, deren Breite um das Mass der Fase unter der ganzen Breite bleibt. Besteht der Kragstein aus mehreren aufeinander gelegten Werkstücken, so liegt es nahe, dem unteren, wie in Fig. 691, eine geringere Breite zu geben und den Breitenüberschuss zu einer Gliederung zu verwenden. Die Konstruktion aus mehreren Werkstücken spricht sich dann noch deutlicher aus, wenn der Kragstein nach Fig. 692 aus mehreren übereinander herausgestreckten rechtwinkeligen Steinbalken besteht, deren untere Kante von einer rings umlaufenden Gliederung umzogen wird. Dadurch lässt sich für die obere Fläche des Kragsteines eine grössere Breite gewinnen, wobei die obere Schicht aus zwei durch Stossfugen getrennten Stücken bestehen kann. In ihrer weiteren Ausdehnung laufen diese Formen mit den konzentrischen Auskragungen zusammen.

Ausbildung der Vorderfläche

Die wirksamste Belebung entsteht durch Verzierung der Glieder mtt pflanzlichem Ornamente. Am einfachsten bildet sich der Kragstein nach Analogie der Kapitäle nach einer Hohlkehle, deren oberer Rand dann durch einen laubartigen Träger gestützt wird. Die Ausbildung der Laubstütze kann der seitlichen Ausladung von Fig. 597 entsprechen. (Ein besonders schönes Beispiel dieser Art findet sich bei Viollet-le-Duc, Tom. IV. pag. 312.)

Ferner werden in derselben Weise wie an den Kapitälen diese Blattbüschel sich in doppelter und mehrfacher Reihe aus der Vorderfläche des Kragsteines frei herausschwingen oder durch angelegte Blätter ersetzt werden können. Ebenso finden sich zuweilen die Träger durch an der Stirnfläche liegende Figuren ersetzt, wie unter der oberen Dachgallerie im südlichen Kreuzflügel der Stiftskirche in Kolmar, wie denn überhaupt die in Fig. 671 jenseits der Linie *b d* befindliche Masse des Werkstückes zu jeder dekorativen Gestaltung zu benutzen ist, welche sogar an der Oberfläche in diese Linie einschneiden darf, wenn ihr übrigens der Charakter einer wirklichen Verstärkung gewahrt ist.

Auch mit Beibehaltung einer geometrisch begrenzten Silhouette lässt sich die Anordnung reicheren Blätterschmuckes verbinden, welcher dann an einen nach Art der Figuren 692 und 684 gebildeten Kragstein sich von dem Stege aus in die zwischen demselben und der Masse des Kragsteines befindlichen Vertiefungen hineinlegt, etwa nach der in Fig. 683 angegebenen Weise, oder an einem Kragsteine mit gefasten Kanten sich von der Stirnfläche über die Fasenfläche legt und so schliesslich den ganzen Kragstein umkleidet, als einzelnes, mächtiger gestaltetes Blatt, wie in Fig. 669, oder als kompliziertes Rankenwerk. In diesem Falle nimmt dann auch der Kern des Kragsteines eine veränderte, mehr der konzentrisch ausladenden ähnliche Gestalt an.

Seltener findet sich ein noch an die Antike erinnerndes grosses, nur die Stirnfläche bedeckendes Blatt, wie an den Kragsteinen unter der Gesimsplatte von Notredame zu Dijon. Häufiger dagegen, vor allem an den zum Auflager der Thürsturze verwandten Kragsteinen, kleine kauernde Figuren oder sich ankrallend Ungeheuer (s. Fig. 693 von der westlichen Thüre der Kirche in Frankenberg).

Ausbildung der Seitenfläche.

Von weitaus geringerer Wirkung und zu der eigentlichen Funktion des Kragsteines ohne Beziehung ist eine Ornamentierung der Seitenflächen, etwa mittelst einer eingetieften Füllung, wie in der modernen Architektur üblich. Die der Konstruktion des Masswerkes ähnliche Bildung des Kragsteines aus einer „auf Spalt“ stehenden Platte führte aber in der Spätgotik zuweilen auf eine masswerkartige Behandlung der Seitenflächen, selbst auf Durchbrechung des ganzen Kragsteines, so dass derselbe geradezu das Ansehen eines Masswerkteiles annimmt, wie solches schon die Besetzung mit Nasen eingeleitet. Die Durchbrechungen aber sind hier weit eher der Tragkraft nachteilig, als durch die Funktion gerechtfertigt. Doch enthalten sie an den alten Werken in der Regel irgend ein konstruktives Prinzip, welches denselben, wenn schon in überkünstlicher Weise, einen gewissen Inhalt zu eigen macht. Ein derartiges Beispiel bieten die Kragsteine unter einer Bühne im südlichen Kreuzflügel von St. Severi in Erfurt (s. Fig. 694 und 694a).

Es bilden dieselben einen aus der Wand herauskommenden Spitzbogen mit schwebendem Pfeiler, so jedoch, dass der aus der Mauerflucht sich heraussetzende Schenkel über dem Scheitel des Spitzbogens durchgeht und als Viertelkreis an das obere Ende des Pfeilers dringend, denselben trägt. Die Zwickel zwischen dem oberen Bogenteil des Viertelkreises und dem vorderen Schenkel des Spitzbogens sind mit durchbrochenem Masswerk ausgefüllt, und der Spitzbogen ist mit Nasen besetzt. Die Seitenteile tragen die in Fig. 694a dargestellten, den vorderen Rand der Platte stützenden, durchbrochenen Platten mit nasenbesetzten Bogen.

Dem unerschöpflichen Reichtume der gotischen Kragsteinbildungen, welchen wir in dem Vorhergehenden anzudeuten uns bemüht haben, können wir uns nicht enthalten, die Art und Weise gegenüberzustellen, in welcher in der modern antikisierenden Kunst derartige Gestaltungen behandelt wurden und teilweise noch werden. Die Grundform, die erzeugende Kurve, ist die in Fig. 695 dargestellte Linie und die einzige Freiheit in der Anwendung besteht in der Stellung, in welche dieselbe zu der lotrechten und wagerechten Richtung gebracht wird.

Es kann nämlich entweder *a b* die lotrechte und *b c* die wagrechte Richtung sein oder umgekehrt, ebenso kann *d e* die lotrechte und *e f* die wagrechte sein oder umgekehrt und schliesslich derselbe Wechsel hinsichtlich der Linien *i g* und *g h* stattfinden. Über diese an ein Daumendrehen erinnernde Mannigfaltigkeit hinaus lässt sich aber, wenn *b c* die Lotrechte ist, noch ein neuer, in unserer Figur punktierter Schnörkel ansetzen. Weitere Mannigfaltigkeit liegt dann noch in der Zahl der Umdrehungen der Volute, der Gestaltung ihres Auges, sowie der Anthemien oder Palmetten, welche die Zwickel an den Seitenflächen füllen, und der Blätter, welche sich an der Stirne von einer Volute unter die andere legen. Der griechischen wie der römischen Architektur und selbst der Renaissance ist solche Einförmigkeit fremd, indem erstere das ganze Motiv zuerst durchbildete und zwar in weitaus vollendeterer Weise, die beiden letzteren aber dasselbe durch die Pracht ihrer Skulpturen in mannigfaltiger Weise belebten, in unseren Zeiten aber hat das bezeichnete Umdrehen von Weinbrenner bis auf Schinkel und neben Letzterem vorbei bis in die Gegenwart gedauert.

Verbindung der Kragsteine mit den getragenen Teilen.

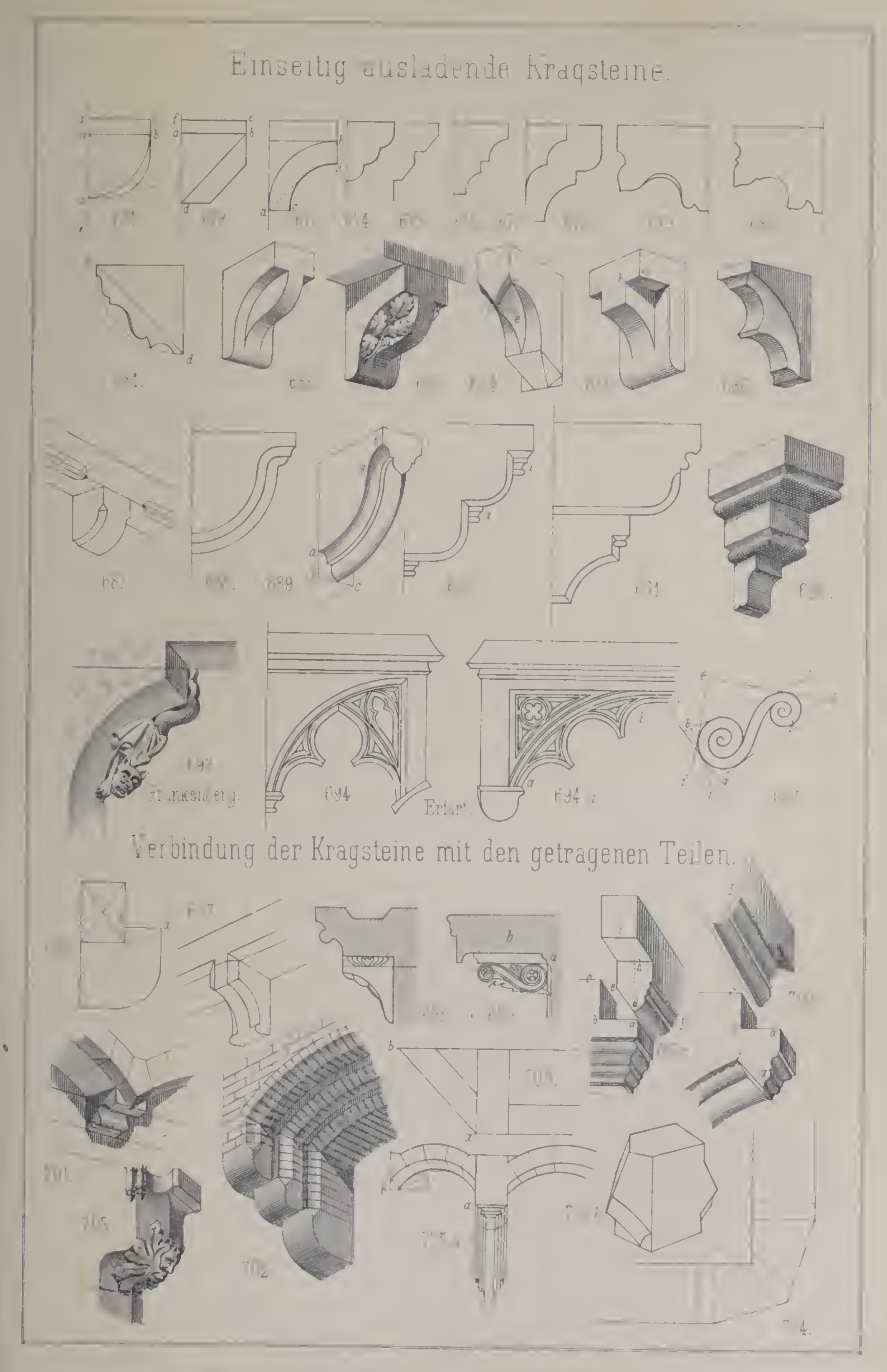
Die Verbindung der Kragsteine mit den getragenen Teilen geschieht je nach dem Zweck in der verschiedensten Weise. Die obere Fläche wird eben abgearbeitet und der Balken oder das Werkstück darauf gelegt. Da, wo zugleich irgend einer Bewegung in horizontaler Richtung vorgebeugt werden soll, wie bei der Auflagerung der Firstschwelle eines Pultdaches wird dieselbe verdübbelt, oder es bleibt auf der oberen Fläche des Kragsteines ein erhöhter Rand stehen, *a b c* in Fig. 696.

Aufgelagerte Deckplatten.

Die Verbindung mit einer Deckplatte geschieht durch stumpfes Auflager. Die Platte kann mit der äussersten Ausladung des Kragsteines Flucht halten und der untere Rand nur zwischen zwei Kragsteinen gefast oder gegliedert sein. Die Gliederung kann entweder vor dem Auflager ins Viereck zurückgehen oder in die lotrechte Richtung umbiegen und sich an den Kanten des Kragsteines fortsetzen (s. Fig. 697). Die Platte kann ferner mit einer durchgehenden Gliederung über die Kragsteine ausladen, wobei diese Ausladung entweder durch einen Wasserschlag in die Kragsteinflucht zurückgehen oder sich lotrecht weiter in der Flucht der oberen Wand oder Brüstung fortsetzen kann.

Während in der antiken Architektur die den Kragsteinen verwandten Bildungen der Konsolen, Modillons usw. an ihrem oberen Rande von einem Gesimsgliede umzogen werden, welches aber in der Wirklichkeit der Platte und zwar dem Ursprunge nach aus der Tiefe der Unterschneidung angearbeitet ist, so dass, wie Fig. 699 zeigt, die Welle *a* sich um die Konsolen herumkröpft und zwischen denselben die Flucht *b* durchgearbeitet ist, findet sich in der gotischen Architektur diese Schwächung der Plattenmitte vermieden. An dem Dachsimse von Notredame in Dijon erhält dieselbe im umgekehrten Sinne eine Verstärkung durch die aus der Unterfläche zwischen den Kragsteinen vortretenden Rosetten (s. Fig. 698). Einer Unterschneidung bedarf die Platte nicht, da das Abtropfen des Wassers durch oberhalb liegende Glieder bewirkt wird.

Die Auflagerung der auf Spalt stehenden Platten auf dem sie stützenden Kragsteine wechselt, je nachdem die Platte in der Richtung der Kragsteine steht,



Einseitig ausladende Kragsteine.
Verbindung der Kragsteine mit den getragenen Teilen.



wie an Thürsturzen, Bogenfeldern usw., oder aber im Grundriss einen Winkel und zwar einfachsten Falles den rechten damit bildet, wie z. B. der Bogen *a b* in Fig. 694a, welcher gleichfalls aus einer Platte gebildet sein kann. Die quer gerichteten stehenden Platten aber finden zuweilen eine ganz eigentümliche Behandlungsweise, vornehmlich an den dem XV. Jahrhundert angehörigen Kaminen, welche den Übergang von der Überdeckung mit einer Platte zu der Überwölbung darstellt. Die in der Regel gleichfalls aus einer auf Spalt stehenden Platte gebildeten Wangen solcher Kamine erhalten nämlich an ihrem oberen Ende eine kragsteinartige Gestaltung, durch welche der für den Rauchmantel nötige weite Vorsprung am Boden in einen geringeren, den Raum des Zimmers minder beengenden, zurückgeführt wird und tragen eine die vordere Wand des Rauchmantels bildende, auf Spalt stehende Platte.

Hierbei kam es darauf an, die Ausladung des Kragsteines möglichst vom Boden zu entfernen, also wo möglich in die Unterkante der Platte auslaufen zu lassen. Hiernach konnte aber die Platte den Wangenstücken nicht stumpf aufgelegt werden, sondern musste wie Fig. 700 in der perspektivischen Ansicht von innen und Fig. 700a in der von aussen zeigt, auf die zu diesem Ende nach *a b c* ausgeschnittene Wange gewissermassen aufgeblattet werden. Diese Konstruktion führte sodann auf die häufig wiederkehrende, in denselben Figuren dargestellte formelle Behandlung, wonach die äussere Hälfte der die Stirnfläche bildenden Rippengliederung unter *a* die Ecke umläuft und sich an der Vorderseite der Platte *p* in wagerechter Richtung fortsetzt, deren innere Seite aber nach einer einfachen Schräge *d e* in Fig. 700a von gleicher Höhe wie das Rippenprofil gestaltet ist, welche sich gleichfalls an dem Wangenstücke bei *f g* Fig. 700 fortsetzt und an die innere Hälfte von dessen Gliederung dringt.

Bogen und Gewölbe zwischen Kragsteinen.

Soll nun die Platte durch einen Bogen, zunächst also durch einen scheitrechten Bogen ersetzt werden, so müssen die Wangenstücke so tief eingemauert sein, dass die dazwischen befindliche Mauermasse von der hebelartig wirkenden Schubkraft des Bogens nicht zerquetscht werden kann, und eine hinreichende Stärke haben, um durch dieselbe Kraft nicht vor der Mauerflucht gebrochen zu werden.

Ebenso kann statt des scheitrechten Bogens auch jede andere Bogenform angewandt und das Widerlager des Bogens entweder dem Kragstein oder einem stärkeren, demselben aufgelegten Werkstück angearbeitet sein. Der Bogen kann wie bei Fig. 694a zur Unterstützung des vorderen Randes einer Fussbodenplatte verwendet werden.

Es kann ferner die abdeckende Platte ganz entbehrt werden, wenn sich der Bogen auf die ganze Ausladungsweise der Kragsteine bis an die Mauerflucht, also zu einem zwischen dieselben gespannten Tonnengewölbe fortsetzt. Derartige Anordnungen finden sich auf jede Ausladungsweite, besonders häufig aber bei vorgekragten Umgängen und bei jenen fortlaufenden Auskragungen, welche einen Vorsprung der oberen Mauerflucht über die untere tragen. Bisweilen sind, wie Fig. 701 zeigt, vorn die Bogenlinien über das ausgekragte Widerlager hin in der Mitte desselben zusammengeführt.

Günstiger wird die Schubkraft aufgenommen, wenn das Tonnengewölbe durch mehrere konzentrische, treppenförmig untereinander gespannte, um ein Geringes aufeinanderfassende Gurtbogen ersetzt ist, deren Widerlager entweder der inneren Seitenfläche des Kragsteines eingearbeitet sind, oder besser aus derselben vortreten, so dass die Seitenfläche um die Ausladung der betreffenden Keilfuge

abgearbeitet wird. Eine sehr sinnreiche Anordnung dieser Art, welche dem Prinzipe nach etwa der Figur 702 entspricht, findet sich unter dem Erker eines der Nebengebäude des Meissener Schlosses, wo durch das Heraussetzen der verschiedenen Werkstücke das Auflager sich ergiebt.

Gesuchter ist die Anlage eines Kreuzgewölbes zwischen zwei Kragsteinen, weil hier der eigentliche Vorteil desselben, der Höhengewinn seitlich wertlos wird, die Wirkung der Schubkraft aber fast die gleiche bleibt. Sowie nämlich die gesamte Schubkraft des Tonnengewölbes an einem der halben Ausladung des Kragsteines entsprechenden Hebelsarme, so wirkt beim Kreuzgewölbe die halbe Schubkraft an der ganzen Ausladungslänge als Hebelsarm, während die andere hart an der Mauerflucht wirkende Hälfte vernachlässigt werden kann. Durch den nach aussen gerichteten Schub der Rippen wird die Zugspannung in dem oberen Teile der Kragsteine noch vergrössert.

Eckbildung der Kragsteine.

Die Kragsteine laden in der Regel aus der Wandflucht in einer zu derselben senkrechten Richtung aus. Wo aber die Auskragung um die Ecke herumgeführt werden soll, da wird in der Regel zur vollkommeneren Unterstützung weit vorladender Platten ein Kragstein übereck herausgestreckt, gegenüber der antiken Anordnung, wonach auf den Ecken zwei ins Kreuz gestellte und die Fluchten fortsetzende, aber aus ein und demselben Stücke gearbeitete Kragsteine zu stehen kommen, sonach die Ecke der Platte ohne Unterstützung bleibt. Der übereckstehende Kragstein muss dann, da seine Ausladung grösser ist, strenggenommen in demselben Verhältnis an Höhe zunehmen, er kann aber dieselbe Höhe behalten, wenn die in Fig. 704 angegebene Anordnung getroffen wird, wonach die Länge der Ausladung aller Kragsteine dieselbe bleibt. Die Anordnung eines übereck stehenden Kragsteines wird zur Notwendigkeit, wenn die übergelegte Platte durch Bogen ersetzt wird.

Wenn durch die Auskragung eine polygonale Grundfläche gewonnen werden soll, so können die Kragsteine entweder zur Flucht der Mauer oder zu der Ausladung winkelrecht stehen. Fig. 705 und 705a zeigen die erstere Anordnung, wonach die unter den schrägen Achteckseiten gespannten Bogen *a b* an die Flucht der Mauer, sowie an die Seitenfläche der Kragsteine unter schiefen Winkeln schneiden, so dass den letzteren ein zum Ansatze dieser Bogen geeignetes in Fig. 705b in perspektivischer Ansicht gezeigtes Widerlagsstück aufgelegt wird. Ein Beispiel dieser Art findet sich unter dem Erker des Fürstensaales im Rathause zu Breslau.

Die zur Mauerflucht schiefwinkelige Stellung der Kragsteine kann von Fall zu Fall sehr verschiedene Ausbildung erfahren.

Gewölbeartige Auskragungen.

Hierher gehören die in den späteren Perioden der gotischen Architektur besonders häufig als Träger von Erkern, Kanzeln, Türmchen usw. verwendeten, nach Art von Gewölbeteilen gestalteten Auskragungen, wie sie die Figuren 706 und 707 zeigen.

Bei derartigen Auskragungen schwebt der Scheitel des Gewölbes in der Luft,

die Schlusssteine oder Scheitelrippen eines wirklichen Gewölbes sind ersetzt, entweder durch Knäufe, welche an dem unteren Rande der oberen Platte sitzen, wie in Fig. 707, oder durch eine unter demselben Rande in wagrechter Richtung durchlaufende Rippe *c* in Fig. 706a. Es könnte als ein Beweis der Willkür der späten gotischen Architektur erscheinen, dass zwei so verschiedenartige Gestaltungen, wie eine Auskragung und ein Gewölbe, nach demselben Systeme gebildet werden. Eine nähere Untersuchung aber zeigt, dass derartige Auskragungen auf einem zwar gesuchten, aber doch noch immer konstruktiven Prinzipe beruhen.

Konzentrische Ausbildung.

Es kann nämlich eine jede Gewölbehälfte ihre volle Stabilität behaupten, sobald der Gegenschub der anderen Hälfte am Scheitel durch den Widerstand einer Mauer oder durch eine Verankerung ersetzt wird. So kann in Fig. 706a die einen Halbbogen bildende Rippe *h c* mit dem kleinsten Material herausgewölbt werden, sobald ihr Scheitel *c* durch einen eisernen Anker vor dem Abweichen in wagerechter Richtung gesichert ist, und es können zwischen zwei in solcher Weise ausgeführten Rippen selbst Kappen gewölbt werden. In Fig. 706a wird aber der eiserne Anker in weit gediegener Weise ersetzt durch die jenseits *d e* eingemauerte und hierdurch in ihrer Lage gesicherte Platte *e f c a b d*, so dass sich zwischen die an dieselbe gearbeiteten Rippenansätze *a b* und den unteren Kragstein *h* gleichfalls Gewölberippen verspannen und zwischen letztere auch Kappen wölben lassen. Wenn man nun, wie dies in der Regel geschehen, die ganze Gestaltung aus wagerechten Schichten bildete, so dass Rippen und Kappenflächen wie an den Gewölbeanfängen an ein und demselben Werkstücke sitzen, so war das nur die Übertragung einer auf kleineres Material berechneten Anordnung auf die dem grösseren angemessene Ausführungsweise, (wie ja an den griechischen Säulenordnungen die Gestaltung einzelner Teile aus dem Holzbau, also auch aus einem andern Material abzuleiten sein dürfte) und der ärgste Einwand gegen die ganze Bildung möchte darin zu suchen sein, dass sie ihre Konstruktion nicht deutlich zu erkennen giebt, insofern es unmöglich ist, von aussen zu sehen, ob z. B. das mittlere Werkstück in Fig. 706a durch eine tief eingreifende wagrechte Lagerfuge *a b* gesichert ist, oder sich zwischen das untere und die aufgelegte Platte verspannt, mithin die durch die punktierte Linie angegebene Gestaltung angenommen hat.

Die Ausführung der Rippen aus ein und demselben Werkstücke mit den Kappen, wonach also die Stärke, um welche erstere auftragen, an letzteren abgearbeitet werden muss, führt dann auf die Anordnung eines zierlicheren und reicheren Rippenschemas, zumal die Höhe des Rippenprofiles dadurch beschränkt ist, dass der vordere Rand der oberen Platte bei *c* nicht zu sehr unterarbeitet werden darf. Diese Unterschneidung kann indes verringert werden, wenn man die Rippen nach der in Fig. 287a bei den Rippenanfängen gezeigten Weise mit der Masse der Kappen unterhalb des Randes verwachsen lässt, so dass die Kappenfläche nach der punktierten Linie in Fig. 706a unter dem Rande anläuft.

Derartige Auskragungen lassen sich bilden zur Gewinnung einer konzentrischen wie einer fortlaufenden Fläche. In letzterem Falle (s. Fig. 707) wird die Form des Netzgewölbes zu Grunde gelegt. Ein sehr künstliches Beispiel letzterer Art findet sich unter dem Balkon des Rathauses in Köln an der dem Neumarkte zugekehrten Seite.

Fortlaufende Auskragung.

Die Konstruktion einer derartigen Auskragung, die Anlage der Fugen richtet sich nach der Beschaffenheit des Materiales. Sind die Werkstücke mächtig genug, um die oberste Lagerfuge so tief zu legen, dass sie die Bogenlinie nicht zu spitz, sondern unter einem Winkel von 60—70° wenigstens schneidet, so kann sie wagerecht gelegt werden, wenn überhaupt das Gefüge des Steines eine spitzwinkelige Kante gestattet. Im andern Falle, bei kleinerem oder weniger feinkörnigem Material, ist es besser, die Lagerfuge vorn nach Art einer Versatzung im Holzbaue rechtwinkelig

durch die Bogenlinien der Rippen wie des Kappenkörpers zu führen (s. *a b d*), so dass im Grundrisse 706 b *f f* die Fläche der radialen Fuge anzeigt.

Komplizierter wird die Anordnung bei einer nach Fig. 707 gestalteten Auskragung, weil hier die Lagerfugen der Rippen in zwei sich winkelrecht schneidenden Richtungen zu liegen kommen, wie in der perspektivischen Ansicht Fig. 707a und dem Grundrisse Fig. 707b gezeigt ist. Das untere Werkstück *A* fasst wie ein Rippenanfang in die Mauer, an dem oberen Rande desselben zieht sich die radiale Fugenfläche *f* und *f'* auf drei Seiten herum. Auf die Fugenfläche *f'* legt sich dann das Werkstück *B*, welchem die Durchschneidung der Rippen angearbeitet ist. Die Seitenflächen des letzteren (*s* in Fig. 707a) bleiben lotrecht und dem oberem Rande sind, wie im Grundrisse durch die punktierten Linien *a b c d* angegeben, wieder die radialen Fugenflächen *f''* angearbeitet. Auf die Fugenfläche *f* und zwischen je zwei Stücke *B* legen sich dann die Zwischenstücke *C*, an deren oberen Rande die durch *a e* angegebene radiale Fläche sich fortsetzt, so dass die Stücke der oberen Platte *D*, welche bis in die Mauer zurückfassen und denen die obersten Teile der Rippen angearbeitet sind, sich gegen die letztere nach *d c b a e* laufende Fläche ansetzen.

Das Anlaufen der Rippen unter den oberen Rand der Auskragung findet sich dann zuweilen in der Weise umgebildet, dass die Rippe sich um diesen Rand herumkröpft und mit dem Profile der Platte sich durchdringt (s. Fig. 708). An der zierlichen Kanzel von St. Blasien in Mühlhausen setzt sich das Rippenprofil über diesen Rand hinaus an der Brüstungswand fort und läuft sich unter dem Brustgesimse der Kanzel tot, so dass hierdurch auf jeder Kante des Polygones ein gegliederter Pfosten entsteht, und die zwischen je zwei solcher Pfosten befindlichen Flächen mit Masswerk verziert sind.

Auch aus dem Tonnengewölbe lassen sich solche Auskragungen konstruieren und bilden dann ohne Rippen eine einfache Hohlkehle, mit Rippen etwa die Gestaltung von Fig. 709, ja es wird gerade hier das konstruktive Prinzip noch deutlicher und die ganze Ausbildung zu einer völlig berechtigten. Wenn nämlich in Fig. 709 das obere Werkstück *A* tief in die Mauer fasst und mit derselben entweder nur durch die Belastung oder durch einen Schwalbenschwanz verankert ist, so verspannen sich nicht allein die unteren Werkstücke *B* der Rippe zwischen dasselbe und die Mauer, sondern es wird auch das vordere Stück *C* des oberen Randes durch einen in der horizontalen Ebene liegenden Keilschnitt *d e* seine Lage behaupten und nicht bis an die Mauerflucht zu fassen brauchen, also die eigentliche Platte entbehrlich sein. Dieses Werkstück aber bildet den Scheitel des zwischen den Rippen angebrachten Tonnengewölbes *D*, welches daher aus kleinstückigem Material ausgeführt werden kann.

Die Anwendung derselben Konstruktion auf Fig. 707 führt auch hier darauf, nur die Stücke, an welchen die Rippen unter dem Rande zusammentreffen, bis in die Mauer fassen zu lassen und zwischen dieselben die Gesimsstücke zu verspannen, so dass hier selbst die in Fig. 709 bei *d e* ersichtliche Keilfuge vermieden und durch die Fuge der Rippe ersetzt wird (s. Fig. 710). In letzterer Gestaltung gewährt die Konstruktion aber noch den Nutzen, dass sie ein Versetzen der Maueröffnungen übereinander gestattet, ja darauf beruht, so dass, wenn in Fig. 710 unter den Schildbogen Bogenöffnungen angebracht sind, die von dem Pfeiler *a* ausgehen, die oberen Pfeiler über den Scheiteln dieser Bogenöffnungen zu stehen kommen. Starke Belastungen können solche Konstruktionen natürlich nicht aufnehmen.

Noch sind einige rein dekorative Gestaltungen zu erwähnen.

Die Unterschneidung des Plattenrandes, wie sie in Fig. 706a bei *c* ersichtlich ist, führt, da die Fuge *a b* dem Werkstück eine grössere, vorn abzuarbeitende

Höhe vorschreibt, auf die Benutzung dieser Höhe zur Anordnung von hängenden, sich unter dem Plattenrand herumziehenden Bogen, die vorzüglich dann am Platz ist, wenn der Auskragungskörper rippenlos ist, überhaupt aber auch in Verbindung mit gegliederten Kragsteinen und in jedem Massstabe vorkommt. Ebenso führt das Verhältnis der Werkstücke anf Anordnung von Nasen auf den Kanten (s. Fig. 711) und ferner auf die Anordnung von mehr oder weniger hinterarbeitetem, selbst von durchbrochenem, vor dem Körper der Auskragung befindlichem und denselben wie in einen Käfig einschliessendem Masswerk, wovon die Kanzel der Leonhardskirche in Frankfurt ein Beispiel giebt, wie sich ferner alle späteren in Fig. 95—102 angeführten Rippenbildungen auch auf derlei Auskragungen angewandt finden.

Auskragungen in Ziegelstein.

Wie überhaupt die Möglichkeit der grösseren und reicheren Auskragungen von der Grösse des Materiales abhängig ist, so leiht sich der Ziegel nur mit einer gewissen Schwierigkeit dazu her.

Auskragungen in kleinerem Massstabe, wie unter Rippenanfängen, finden sich aus ganzen Stücken von gebranntem Thon in derselben Weise ausgeführt und nur mit minderer Freiheit behandelt wie von Stein. Beispiele dieser Art zeigen die Reste der Cistercienserklöster Chorin und Hude bei Bremen, das Ordensschloss zu Marienburg usw. Die Gewinnung weiterer Ausladungen wird aber nur durch ein fortgesetztes Hinausrücken der oberen Schichten über die unteren möglich, welches dann mit oder ohne Anwendung von eigens geformten Ziegeln in verschiedenartiger Weise geschehen kann. Die Figur 712 zeigt verschiedene hier mögliche Anordnungen in ein und demselben Beispiel.

Die einfachste und zunächstliegende ist die von *a* bis *b* angedeutete Heraussetzung der einzelnen Schichten übereinander im gewöhnlichen Verbande. Zur Gewinnung einer treppenförmigen Grundfläche können sich seitwärts weniger stark vortretende Auskragungen nach der zwischen *e* und *f* gezeigten Weise anschliessen. Auf letztere Art kann sich eine einfache viereckige Grundfläche ergeben durch Höherführen der seitlichen Auskragungen bis in die äussere Flucht. Unter Annahme der diagonalen Fugenrichtung ergiebt sich andernfalls im ganzen die Grundform des übereckstehenden Quadrates *d*, aus welcher dann durch eine Verbindung mit einzelnen Ziegeln in der gewöhnlichen Lage entweder wie bei *d* oder bei *d'* die Grundform des Rechteckes bei *c* wiedergewonnen wird. Die bei *d'* gezeigte Stellung der einzelnen Ziegel ist über *c* in diagonaler Richtung angewandt und bildet eines der gebräuchlichsten Mittel zur Erreichung einer durchlaufenden Auskragung, etwa unter Gesimsen, welches eine verschiedene Wirkung hervorbringt, je nach Zahl der aufeinanderliegenden Schichten, sowie der Weite, um welche die oberen über die unteren vorgeschoben sind, oder je nachdem derartige Schichten mit einer in gewöhnlicher Lage befindlichen wechseln. Bei *g* ist ferner die Auskragung durch eine Rollschicht gezeigt. Ebenso aber können auch einzelne Ziegel in derselben Lage wie in der Rollschicht vorgeschoben und dann durch eine einfache oder treppenförmige Überdeckung, oder aber durch giebelförmig aneinander-

gestellte Ziegel, wie bei *h*, verbunden werden. Ebenso ist die Überwölbung, wie sie für den ganzen Körper angedeutet, auch für kleinere Auskragungen anwendbar.

Die formale Ausbildung derartiger Ziegelkonstruktionen muss einer besonderen Veröffentlichung vorbehalten bleiben.

Übergänge an gegliederten Ecken.

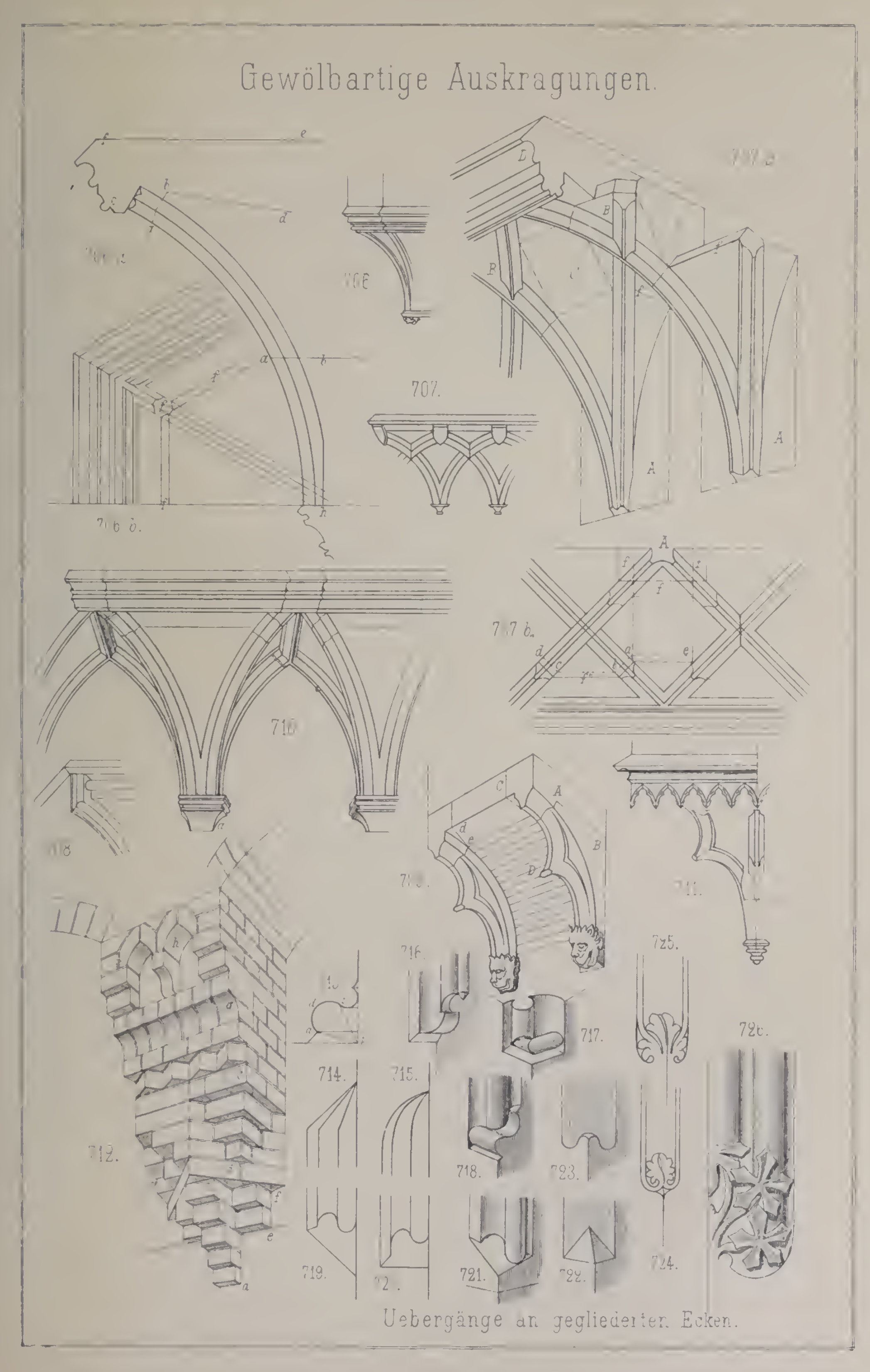
Den Auskragungen verwandt sind die Übergänge, welche aus einem gefasten, polygonalen oder gegliederten Körper in einen rechteckigen, oder aus einem gegliederten in einen polygonalen hinüberleiten sollen und in grösserem Massstabe an einfacheren Thüren, in kleinerem aber am unteren oder oberen Ende eines Pfeilers, Fensters oder Thürgewändes usw. gewissermassen als Ersatz für den Sockel oder das Kapitäl auftreten. Im Holzbaue kommen sie an gegliederten Unterzügen, Balken, Rahmenhölzern, kurz überall vor, wo eine Verbindung von zwei derartigen Hölzern, also etwa das Auflager der Schwelle auf den Balkenköpfen, der Balken auf der Mauer bewirkt werden soll.

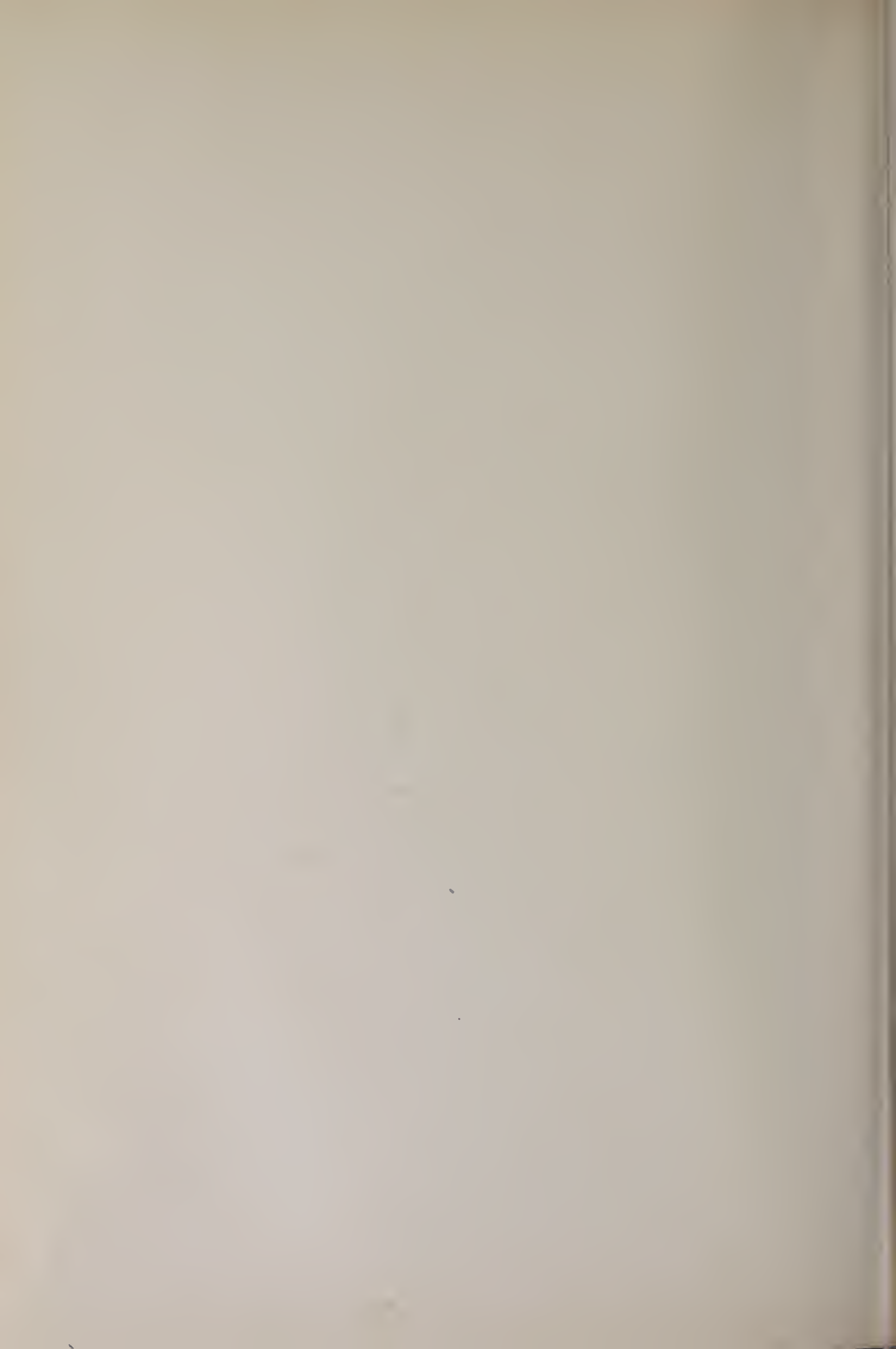
Sie werden im Grossen oft zu wirklichen Auskragungen und können nach jeder der bereits bezeichneten Arten ausgeführt werden. Ein einfaches Beispiel einer solchen Gestaltung im Ziegelbaue findet sich an einem sechseckigen Treppenturme der Aegidienkirche in Lübeck, dessen oberes Stockwerk ins Viereck hinübergeführt ist und zwar nur durch eine Folge von gewöhnlichen, in der Richtung der Viereckseiten herausgemauerten, also an die Sechsecksflächen anlaufenden Schichten.

In kleinerem Massstabe kommen besonders die oberen und unteren Endigungen gegliederter Kanten in Frage, die eine einfache geometrische oder reichere ornamentale Behandlung erfahren können.

Die geometrischen Bildungen können selbst bei grosser Einfachheit recht mannigfaltig ausfallen (vergl. Fig. 713—723). So kann in Fig. 713 die Gliederung in das Viereck zurückgehen durch eine Bewegung nach der Ecke zu, wie sie im Grundrisse durch die Linien *a b*, *c d* angedeutet ist, im Aufriss aber vermittelst eines Knickes nach wagerechten, bezw. schräg ansteigenden Linien (Fig. 714), oder aber ohne solchen nach den verschiedenartigsten Kurven (Fig. 715) geschehen kann, so dass die einzelnen Glieder sich nach der Spitze verjüngen und in derselben zusammenlaufen. So sind ferner auch die in derselben Figur 713 angedeuteten parallelen Führungen der Glieder gegen die Seiten des Viereckes möglich und zwar wieder nach Kurven, nach schrägen oder wagerechten Linien (Fig. 716), wobei an der Seitenfläche das wirkliche oder ein verzerrtes Profil zu Tage tritt. An Stelle des gleichen kann ein anderes z. B. das umgekehrte Profil gegen die Gliederung schneiden (Fig. 718). Das Erscheinen des abgeschnittenen Profiles wird vermieden, wenn die Gliederung nach 717 die Ecke umläuft und in sich selbst zurückkehrt.

Eine andere Endigung entsteht durch eine Durchdringung der Gliederung mit einer Ebene, zunächst der Schräge. Dieselbe kann sich in diagonaler Richtung also in Fig. 713 von *b* nach *d* erheben (siehe Fig. 719) oder sie kann so geführt sein, dass sie an einer Seite der Ecke steil ansteigt, während sie an der


Gewölbartige Auskragungen.
706.
707.
710.
712.
714.
715.
716.
717.
718.
719.
721.
723.
724.
725.
726.
Uebergänge an gegliederten Ecken.



andern Seite eine wagerechte Kante (Fig. 720) oder auch eine flacher steigende Kante (Fig. 721) bildet. Die Überführung durch zwei dachartig gegeneinander gelegte Ebenen (Fig. 722) oder eine geschwungene Ebene (Fig. 723) eignen sich für Abfasungen oder einfachere Gliederungen.

Es können dieselben Anordnungen stattfinden, wenn der Übergang in ein Polygon zu bilden ist. Hierher gehören die unter Fig. 574—581 aufgeführten spätgotischen Sockel, deren Prinzip gleichfalls in dem Übergang aus einer Grundform in die andere enthalten ist.

Ornamental behandelte Übergänge wurden von der romanischen und frühgotischen Zeit bevorzugt (Fig. 724—726), sie bilden eine Fülle immer neuer anmutender Lösungen. Schliesslich ist als eine wirkungsvolle Kantengliederung der früheren Jahrhunderte die eingelegte Ecksäule zu erwähnen, die an Pfeilern und an den abgestuften Ecken der Portale mannigfache Verwendung findet und infolge der beschränkten Ausladung und der einseitigen Ausbildung für Kapitäl und Basis eigenartige, dem Zweck angepasste Gestaltungen hervorgerufen hat.

IV. Die Grundrissbildung der Kirche.

1. Die einschiffige Kirche.

Richtung der Kirche von West nach Ost.

Schon seit den ersten Jahrhunderten sind die christlichen Kirchen jeglicher Grundform mit ihrer Hauptachse von West nach Ost gerichtet. Man nennt eine so gerichtete Kirche „orientiert“ oder „geostet“.

Der Hauptaltar, der anfangs oft im Westen Aufstellung fand, erhielt sehr bald im Osten seinen festen Platz, nur die doppelchörigen Kirchen erhielten einen Altar im Osten und Westen.

Für die östliche Lage des Chores sind die aus der altchristlichen Zeit stammenden Vorschriften, deren innere Gründe bei KREUSER (Christlicher Kirchenbau) und OTTE (Handbuch der kirchlichen Kunstarchäologie) sich finden, heutigen Tages noch eben so gültig wie im Anfang und werden auch in neueren Zeiten wieder allgemeiner befolgt.

So sehr sich die Richtungen der Menschen in jeder weltlichen Hinsicht scheiden, so ist doch für sämtliche Christen ohne Unterschied des Bekenntnisses die eine Richtung dieselbe nach dem dreieinigen Gott, sie spricht sich aus in der gleichen Richtung aller Betenden und demzufolge auch aller Kirchen nach Osten. Die Gründe, welche seit dem 16. Jahrhundert auf Abweichungen geführt haben, laufen sämtlich in den einen aus, dass das an Symmetrie gewöhnte gebildete Auge durch die schiefwinklige Lage, welche die Strassenflucht etwa gegen die orientierte Kirche bildet, sich beleidigt fühlen möchte. Geben wir für den Augenblick diese Beleidigung des gebildeten Auges zu, so kann doch nicht angenommen werden, dass dasselbe Auge hinsichtlich der Totalwirkung einer Stadt weniger empfindlich sein wird, als hinsichtlich des Anblickes einer Strasse oder eines Platzes. Offenbar aber sind es trotz aller Pracht und Grösse der Bahnhöfe und Fabrikbauten noch die Kirchen, welche vermöge ihrer körperlichen wie monumentalen Grösse den Charakter der Gesamtansicht bestimmen. Man überblicke doch einmal eine jener schönen Städte, die die Pracht ihrer alten Kirchen bewahrt haben, wie Lübeck,

Nürnberg, Mühlhausen, denke sich dann diese Kirchen plötzlich in ihrer Lage verrückt und nach allen Richtungen auseinanderlaufend, und suche sich das Bild der Verworrenheit, den Misston zu vergegenwärtigen, welcher so entstehen müsste.

Minder schreiend zwar, jedoch ebenso widerlich sind die Eindrücke, die man in der Wirklichkeit in jenen Städten erhalten kann, welche die Zahl ihrer alten Kirchen durch neue vermehrt haben, die fast ausnahmslos den alten an Würde und künstlerischer Bedeutung nachstehen, dabei aber oder vielleicht eben deshalb sich gegen die durch die Lage der alten angedeutete Ordnung stemmen.

Die an manchen mittelalterlichen Kirchen vorkommende geringe Abweichung der Längenachse von der Ostlinie wird erklärt durch den Wechsel der Gegend des Sonnenaufgangs nach den Jahreszeiten (Zeitschrift für christliche Archäologie und Kunst), die zuweilen auftretende Abweichung der Richtung des Schiffes von der des Chores, wie am Erfurter Dom und an Maria Stiegen zu Wien, wird wohl auf die Schwierigkeit der Feststellung der Baulinie in dem durch anderweite Bauten eingeengten Raum (VIOLETT-LE-DUC, dict. d'arch.) zurückgeführt.

Die Deutung, dass die Neigung des Chores gegen die Achse des Schiffes symbolisch als Neigung des Hauptes Christi in dem kreuzförmigen Grundriss aufzufassen sei, soll nur der Vollständigkeit wegen erwähnt werden. Zu beachten ist, dass die Richtungsänderung besonders dann zu beobachten ist, wenn Schiff und Chor verschiedenen Zeiten entstammen.

Die Ostung nach dem Sonnenaufgang am Gründungstage der Kirche bezw des Chores oder am Namenstage eines Heiligen würde eine Erklärung geben. Neuerdings sucht der Ingenieur WEHNER (Zeitschrift Denkmalspflege 1899. S. 97) nachzuweisen, dass die Kirchen im Mittelalter nach der Magnetnadel geostet seien und dass man aus dem starken Wechsel der Fehlweisung der Nadel bestimmte Schlüsse auf die Erbauungszeit der Kirche oder ihrer Teile ziehen könne.

Die Magnetnadel soll Ende des 12. Jahrhunderts durch ALEXANDER NECKAM, einen Milchbruder von RICHARD LÖWENHERZ, nach Europa gebracht sein, anderen Nachrichten zufolge soll schon den Normannen um 1000 der „Leidarstein“ bekannt gewesen sein. Um 1500 giebt LARENZ LACHER an, dass zur Gewinnung der Richtung des Chores ein „Khumbast“ zu benutzen sei.

Allgemeine Grundform einschiffiger Kirchen.

Einschiffige Anlagen sind zu allen Zeiten des Mittelalters nicht nur für einfache Kapellen, sondern auch für Pfarr- und Ordenskirchen zur Ausführung gebracht, sie treten zeitweis sogar in grossen zusammenhängenden Gruppen auf. Es sei erinnert an die Kuppelkirchen im südwestlichen Frankreich (Angoulème, Fontevrault, Souillac, Gensac usw.), die meist bei einer Kuppelspannung von 10 bis 12 m recht ansehnliche Innenräume bilden, es sei ferner hingewiesen auf die zahlreichen einschiffigen Kirchen des 15. Jahrhunderts, die einschliesslich der ins Innere verlegten Strebepfeiler gewaltige Weiten bis 18 m und darüber im Lichten erreichen.

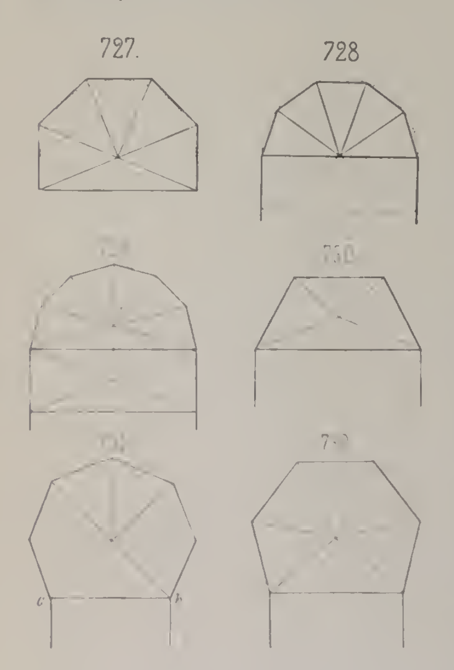
Selten ist die Grundform ein einfaches ungegliedertes Rechteck, vielmehr zeigt sich auch bei den kleinen Kapellen zum mindesten der Chor ausgesprochen, sei es durch einen polygonalen bezw. runden Abschluss, sei es durch eine Einziehung der Weite und Höhe der östlichen Chorfelder, oder sei es in ausge-

prägter Weise durch Einschalten eines teilenden Querschiffes. Im letzten Falle können Seitenapsiden und Kapellenkränze hinzutreten, überhaupt alle bei mehrschiffigen Kirchen möglichen reichen Choranlagen zur Durchführung gelangen (vgl. darüber hinten).

Der westliche Abschluss kann durch eine Giebelwand mit oder ohne Vorhallen und Treppentürmchen bewirkt sein, er kann sich auch zu einem Querbau oder zu einer entwickelten Turmanlage herausbilden.

Grundform des Chorschlusses.

Die ursprünglich nur für den am Schiffe liegenden Teil des Presbyteriums übliche Bezeichnung Chor wird gegenwärtig ganz allgemein für den östlichen, den Altar in sich fassenden Bau verstanden, dessen Endigungen als Chorschluss, Chorhaupt bezeichnet wird.



Der Chor als die Stätte des Altars ist in so hohem Masse der wesentliche Teil des Gotteshauses, dass er sehr wohl ohne Schiff bestehen und selbst ein Ganzes bilden kann, wie sich dies an manchen kleinen Kapellen findet, wo der freie Raum ausserhalb für die Gemeinde bestimmt ist, mithin das Schiff ersetzt. Das umgekehrte Verhältnis ist dagegen undenkbar, weil ohne Altar oder Altarplatz keine Kirche gedacht werden kann, der für letzteren erforderliche Raum daher aus dem Innern herausgeschnitten werden muss, wenn er nicht ausserhalb vorgelegt ist. Eine Anlage, in welcher der Raum des Altars sich nicht ankündigt, führt meist zu einer Raumverschwendung und bedeutet in der architektonischen Sprache eine Verleugnung des Altarsakramentes vor den ausserhalb der Kirche Befindlichen und ist für katholische und lutherische Kirchen als ungeeignet, für reformierte Kirchen als wenig glücklich zu bezeichnen. Hiernach muss der Chor vor den Körper der Kirche vortreten und sich von demselben, wenn nicht durch die Grösse, so doch durch die Eigentümlichkeit seiner Grundform und Aufrissentwicklung unterscheiden.

Allgemeine Form des Chorpolygones.

Die an gotischen Werken am häufigsten vorkommenden Grundrissbildungen des Chorschlusses sind die nach 5 Seiten des Achteckes (Fig. 727) oder des Zehneckes (Fig. 728) oder nach 7 des Zwölfeckes. Seltener finden sich 4 Seiten des Achteckes oder 6 Seiten des Zwölfeckes (Fig. 729). Letztere führen den Nachteil mit sich, dass in die Längenachse ein Pfeiler zu stehen kommt. Alle diese Polygonformen sind aus dem Halbkreis entstanden und unterscheiden sich zunächst danach, ob sie einem überhöhten Halbkreis umschrieben (Fig. 727) oder als genaue Polygonhälften dem Halbkreis einbeschrieben sind (Fig. 728). Die ersteren

haben den Vorteil, dass sie einen leichteren Übergang aus dem Grundrisse des Polygongewölbes in den der anschliessenden rechteckigen Joche ermöglichen. Bei ihnen kommt das von dem Zentrum des Polygones ausgehende Rippensystem noch innerhalb des Polygonteiles zu einem selbständigen Abschlusse, was bei einem halben oder kleineren Polygonteile nur durch eine Verschiebung des Schlusssteines im Chorschlusse möglich wird, wenn derselbe nämlich, wie Fig. 729 zeigt, aus dem eigentlichen Zirkelpunkte c des Polygons nach c' gerückt wird. Hierdurch erhalten aber die östlichen Rippen des Joches bei gleicher Höhe eine geringere Grundrisslänge als die westlichen, die ganze Anordnung hat mehr den Charakter eines Auskunftsmittels. Bei dem Chorschlusse nach drei Seiten des Sechseckes geht hierbei die Führung der Rippen in diejenige des Kreuzgewölbes über einem Trapez über (s. Seite 29).

Das Chorpolygon erhält eine Erweiterung, wenn der Radius des umschriebenen Kreises die halbe Breite der Grundlinie übersteigt und der Chorschluss nach sieben Seiten des Zehneckes, sechs Seiten des Achteckes (Fig. 731), neun des Zwölfeckes fünf des Siebeneckes gebildet ist (Fig. 732). Diese Anordnung findet sich in einzelnen rheinischen und westfälischen Kirchen, so in St. Petri und Maria zur Wiesen in Soest aus dem Zehneck, in der Kirche zu Sayn aus dem Achteck, im Münster zu Aachen aus dem Vierzehneck, aber auch in den Ostseeländern, und hat den Vorteil, für den Chor eine wesentliche Raumerweiterung zu gewinnen, dann aber, einen besonders einfachen Anschluss der etwaigen Nebenchöre an dem hohen Chore zu bewirken.

Den polygonalen Chorschlüssen ist auch der vierseitige beizuzählen. In grösseren Verhältnissen findet er sich an Cistercienser Ordenskirchen und an englischen Werken, in mässigeren Dimensionen aber häufig in den westfälischen Gegenden, in Preussen und schliesslich in Verbindung mit gewölbelosen Schiffen in sehr kleinen Massen an einzelnen Dorfkirchen, wofür wir nur die Kirchen von Schwarzenborn und Nieste in Hessen anführen wollen. Fig. 733 zeigt den Grundriss der Kirche zu Nieste. In letzterer Kombination dürfte wohl das Minimum eines gotischen Kirchenbaues gegeben sein.

In den frühgotischen Werken Frankreichs bildet der halbrunde Chorschluss noch die Regel und findet sich z. B. an der Kathedrale von Reims noch in der Weise, dass die Fenstersohlbank den Kreisbogen abschliesst und die Fenster selbst den Übergang in die polygonale Grundform bilden. Ein deutsches Beispiel derselben Art zeigt der Ostchor des Domes in Bamberg.

Dienste im Chor

In den Polygonwinkeln sitzen die Dienste oder Kragsteine zur Aufnahme der Gewölberippen. Ihre Zahl und Stärke ist vom Gewölbesystem abhängig. Im einfachsten Falle, den wir in Fig. 734 annehmen, findet nur ein Dienst für die Diagonalrippe seinen Platz, dessen Durchmesser dann die Breite der letzteren nicht übertreffen darf. Vergrössert kann derselbe werden, wenn auch die vortretenden Schildbogen auf dem Dienstkapitäle sitzen sollen.

Sollen für die Schildbogen besondere kleinere Dienste angeordnet werden, so muss der für die Diagonalrippen bestimmte weiter vorgeschoben werden, etwa nach Fig. 734a. Häufig ist dann die innere Mauerflucht unterhalb der Fenster-

sohle in die punktierte Linie *l l* vorgeschoben, so dass der Scheidebogendienst auf der Fenstersohle oder dem hier herumlaufenden Gesimse sich aufsetzt.

Nach Bestimmung der Dienste sind die Fenstergrundrisse anzutragen.

Grundriss der Fenster.

Bei grösster Breitenentfaltung würden dieselben die Weite zwischen den Strebepfeilern völlig einnehmen, in Deutschland beanspruchen sie meist nur einen Teil derselben. Für die Gesamtwirkung im Innern wie im Äussern ist es vorteilhaft, eins vorherrschen zu lassen, die Masse der Mauer oder die Breite der Fenster. Bei geringer Breite, etwa bis zu 1 m, bleiben die Fenster am besten ungeteilt. indem eine allzu geringe Breite der durch eine Teilung sich ergebenden Fenster der Wirkung der Verglasung hinderlich ist und die Bogen und das darin anzubringende Masswerk kleinlich macht. Überhaupt hat man sich durch die späteren Werke viel zu sehr daran gewöhnt, das Masswerk als notwendigen Bestandteil der gotischen Kirchenfenster anzusehen, und der Verglasung eine zu geringe Wichtigkeit beizulegen. Das umgekehrte Verhältnis ist der Natur der Sache angemessener und bringt, wie so manche frühgotische Werke zeigen, eine bessere Wirkung hervor. Indes auch hier kommt viel auf die besonderen örtlichen Verhältnisse an. Wo es sich z. B. um Ausführung irgend eines kleineren, der Kirche angeschlossenen Baues, einer Kapelle, einer Sakristei usw. handelt, kann sogar die geringe Grösse solcher Details die Wirkung des grösseren, an der Kirche befindlichen steigern. Im allgemeinen dürften die Breiten von 0,40 und von 1,20 m nach beiden Seiten als Grenzen der Felderbreite gelten.

Die gewöhnlichste Einteilung der Fensterbreite ist die durch einen Mittelpfosten in zwei Felder. Das Verhältnis der Breite der Pfosten zu der der Felder ist durch das Material und die Grenzen der Ausführbarkeit und Dauer bedingt, und ist an den frühgotischen Werken grösser als an denen der späteren Perioden. So ist es an den Fenstern der Elisabethkirche zu Marburg 11 : 35, der Kirche zu Haina 1 : 3, der Kirche zu Wetter $9^1/_2$: 26, also etwa 3 : 8 — 1 : 3 und geht in den späteren Werken bis auf 1 : $5^1/_2$. Die übermässig schwachen Pfosten der Spätzeit können sich jedoch nur durch die zur Anlage der Verglasung hindurch gehenden eisernen Stäbe halten und bringen zudem eine magere, der Gusseisenarchitektur nicht sehr entfernte Wirkung hervor. Das grosse Publikum freilich, welches stets dem zugeneigt ist, was es für „künstlich" ansieht, pflegt an allen solchen, übermässig schlanken Teilen das grösste Behagen zu finden, es zieht, verbildet durch die lange Periode der Geschmacklosigkeit, die Anwendung trügerischer Geheimmittel einer offen dargelegten, vernünftigen Konstruktion vor, und so kann man überhaupt die Erfahrung machen, dass an den in verschiedenen Perioden entstandenen Werken die spätesten Teile die meisten Bewunderer finden. Ganz anders würde sich indes auch hier das Verhältnis der Wertschätzung herausstellen, wenn einem in dem Style der Frühgotik völlig durchgeführten Werke ein anderes, der Spätzeit angehöriges, jedoch weder kostbares noch neueres, gegenüberstände und so die harmonische Wirkung des älteren in ihre Rechte treten könnte.

Die Pfostentiefe überwiegt die Breite. Mit den Pfosten ist das Glas und Eisenwerk des Fensters verbunden, deshalb findet sich in der Regel an dem Fenstergewände ein halber Pfosten, der sogen. Wandpfosten, doch fehlt derselbe an einzelnen frühgotischen Werken. Es stehen demnach die Wandpfosten mit den Mittelpfosten in Verbindung, am Fusse durch die Sohlbank, am Kopfe durch das Masswerk, auf die ganze Höhe aber durch die eisernen Schienen, an denen die Verglasung befestigt ist, sowie durch diese letztere, und bilden so eine Wand, welche, in der Mauerdicke weiter nach innen oder aussen gerückt oder in der gewöhnlichen Weise in der Mitte stehend, den Charakter der Gewändegliederung bedingt.

In der Regel haben sämtliche Fenster des Chores dieselbe Grösse. Indes ist zuweilen das östliche Fenster durch Gestalt und Grösse gegen die übrigen vor-

herrschend, also z. B. zweiteilig mit Masswerk über den Pfosten, während die übrigen einfache Spitzbogenfenster sind. Diese einfache Anordnung zeigt eine ganz analoge Betonung der Orientierungslinie, wie sich solche bei jenen reichen Choranlagen mit Umgängen in der Anlage der verlängerten Frauenkapellen ausspricht, und bringt eben hierdurch eine sehr glückliche Wirkung hervor. Bisweilen ist das Ostfenster vermauert und aussen durch ein weithin schauendes Marienbild geschmückt (Erfurt, Marienburg i. Pr.).

Das Ostfenster sollte als Zielpunkt für das Auge stets eine besonders würdige farbige Bemalung erfahren. Bei vielen neuen Kirchen beleidigt das grelle Licht des farblosen Fensters das Auge und giebt zudem dem Altar eine hässliche Rückenbeleuchtung.

Das Fenster lässt sich so stark erbreitern, dass inwendig der grösste Fensterbogen zugleich den Schildbogen für das Gewölbe abgiebt, ja es kann die Vergrösserung so weit gehen, dass sich aussen die äussere Gewändeschräge in die Masse des Strebepfeilers schiebt, so dass der Wandpfosten unmittelbar an letzteren anschliesst und der Bogen des Gewändes aus dem Strebepfeiler wächst.

Vergrösserung der oberen Mauerdicke.

In letzterer Weise lässt sich auch die Breite des oberen Mauerstückes vergrössern, wenn konzentrisch mit dem Fensterbogen oder bei geringerer Fensterbreite exzentrisch sich ein in unserer Fig. 734 oben rechts durch die punktierte Linie *p p* angegebener Bogen zwischen die Strebepfeiler spannt oder auf dieselben aufsetzt. Beispiele dieser Art zeigen die Chöre von jung St. Peter und St. Thomas in Strassburg, von welchem ersteren Fig. 783 ein Feld in der äusseren Ansicht zeigt, sowie die Elisabethkirche in Marburg. Diese Vergrösserung der Mauerbreite kann geboten werden, sowohl um die Anlage des Dachwerkes und der Wasserrinnen zu erleichtern, (in welchem Falle sie sich über alle Gewölbejoche hinzieht und besonders dann nötig wird, wenn nach innen keine vortretenden Schildbogen angeordnet sind, mithin die zum Ansatze der Kappen nötige Breite von der Mauerdicke abgeht) wie um für irgend welchen Aufbau die Basis zu schaffen, sie kann in letzterem Falle sich auf ein Feld beschränken. An dem östlichen Felde des Domes zu Erfurt findet sie sich mit reicher Gliederung in letzterem Sinne.

Stellung der Mauer zu den Strebepfeilern.

Eine glückliche Wirkung ergiebt sich, wenn die Mauer zwischen den Strebepfeilern weiter nach aussen gerückt wird, so dass die Köpfe der letzteren (*a b c* in Fig. 734*b*) innen Vorlagen bilden, welche die Schildbogen aufnehmen. Eine derartige Anlage, durch welche der Vorsprung der Strebepfeiler aussen verringert wird, findet sich u. a. in dem Schiffe der Kirche in Wetter (s. Fig. 737), im Schiffe der Minoritenkirche zu Duisburg (Fig. 735) und in Chor und Kreuzflügeln der Kirche zu Haina. In beiden letzteren Beispielen ist die Mauer unterhalb der Fenstersohle in die äussere Flucht der Strebepfeiler gerückt, so dass diese erst oberhalb der in der Kaffsimshöhe bewirkten Absetzung vor der Mauerflucht vorspringen.

Eine Verbindung der äusseren und inneren Verstärkung ergiebt sich, wenn den inneren Ecken *a b c* in Fig. 734b die äusseren Ecken *d e f* entsprechen, so dass der Schildbogen durch die Mauerdicke dringt und zugleich das Dachwerk trägt, während die Wand, in ihrer Stärke beschränkt, sich zwischen die Pfeiler *e d b c* setzt. Die Mauer hält mit den Pfeilern Verband, setzt sich aber mit einer Fuge unter den Schildbogen. Hierbei brauchen die Pfeiler *e d f* nicht bis auf den Fuss-

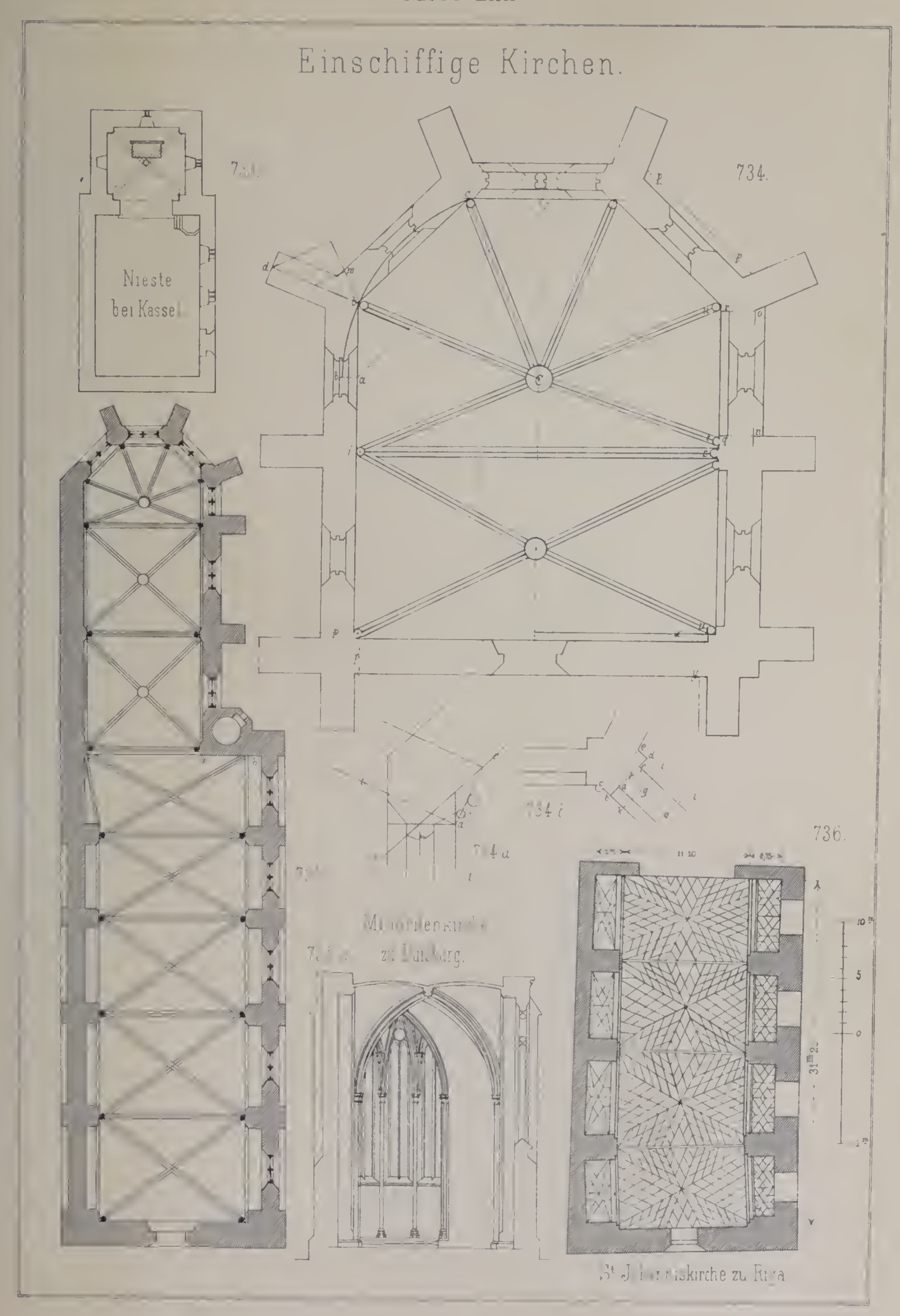
boden hin sichtbar zu werden, sondern es kann die Brüstungsmauer der Fenster in die Flucht *d i* rücken und nach innen entweder die volle Stärke *d a* oder selbst *d b* erhalten, oder in einer geringeren Stärke bleiben, wie durch die punktierte Linie *h g* angedeutet ist.

Die grössere Stärke des unteren Mauerstückes ermöglicht die zu so verschiedenen Zwecken dienliche Anordnung von Blenden und Schränken. Ein Vorsprung der oberen Mauer über die untere kann unterhalb der Fenstersohle durch einen Bogen getragen werden; ein Vorsprung der unteren Mauer kann dagegen die Anlage von Umgängen in der verschiedenartigsten Weise gestatten, wie weiterhin erklärt werden wird. In der erzbischöflichen Kapelle zu Reims ist die Mauer zwischen den Strebepfeilern so weit hinausgerückt, dass sich zwischen ihr und den unteren Teilen der Strebepfeiler Durchgänge haben bilden lassen.

An der Katharinenkirche in Oppenheim ist unten die Mauer völlig in die äussere Flucht der Strebepfeiler gerückt, so dass diese letzteren den Raum zu Kapellen unter der Sohle der Fenster des Seitenschiffes hergeben. Ähnliches zeigt der Dom in Stendal. An vielen französischen Kathedralen, so zu Paris, Amiens, Rouen, Meaux, ferner an dem Chore der Frauenkirche zu Bamberg u. a. nehmen diese zwischen den Strebepfeilern mit Ausnahme des letzten Beispieles nachträglich eingebauten Kapellen die ganze Höhe der Seitenschiffe ein und an einzelnen deutschen Kirchen der Spätzeit ist bei gleich hohen Schiffen die Mauer in die äussere Strebepfeilerflucht gerückt, so dass sich im Innern tiefe Blenden bilden, vgl. Fig. 736, Johanniskirche zu Riga (nach einer Aufnahme von A. Reinberg zu Riga).

Während daher nach der Oppenheimer Gestaltung die Strebepfeiler im Äusseren oberhalb der Kapellen sichtbar werden, treten sie an jenen französischen Werken erst oberhalb der Seitenschiffe, also in Beziehung auf das Strebesystem, zu Tage. Bei den erwähnten spätgotischen Saalkirchen gelangen sie aussen überhaupt nicht zur Erscheinung. Letztere Anordnung muss, abgesehen von der trockenen Wirkung des Äusseren, schon aus dem Grunde als die mindest glückliche bezeichnet werden, weil sie die in konstruktiver Hinsicht so vorteilhafte Absetzung der Strebepfeiler aufhebt und auch sonst statisch weniger günstig ist. Bereits an den Figuren 332 bis 349 ist dargethan, welchen Einfluss die gegenseitige Stellung der Wand und Strebepfeiler in statischer Beziehung ausübt. Zum Vergleiche der Vorzüge und Nachteile der äusseren und inneren Verstrebung wurde für ein und dieselbe einschiffige Kirche von 14 m Spannweite bei 7 m Jochlänge und 20 m Wandhöhe eine statische Untersuchung erst für äussere Strebepfeiler und dann für innere Strebevorlagen durchgeführt. Dieselbe ergab als Widerlagsmasse für ein Joch (einschliesslich des Mauerfeldes) bei gleicher Standfähigkeit im ersten Falle 124, im zweiten 156 cbm Ziegelgemäuer. Das erforderliche Mauerwerk stand also im Verhältnisse wie 4 zu 5. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass bei innerer Verstrebung dem Mehraufwand an Masse ein gewisser Vorteil durch Vergrösserung des Innenraumes gegenübersteht.

Das Verschieben des unteren Mauerstückes nach aussen und des oberen Mauerteiles nach innen (Oppenheim, Stendal u. s. f.) ist deshalb besonders günstig,


Einschiffige Kirchen.
734.
Nieste
bei Kassel
734 a
736.



weil unten der nutzbare Kirchenraum vergrössert wird, oben aber die lastende Mauermasse in günstiger Weise nach innen verlegt wird.

Eine grosse Verschiedenartigkeit in Hinsicht auf die Widerlagsbildungen zeigt die Minoritenkirche in Duisburg in ihren einzelnen Teilen, s. Fig. 735. Hier findet sich im Chorpolygone die gewöhnliche Anordnung der Dienste mit nach aussen vorspringenden Strebepfeilern, welche dann in den parallelen Teilen der Südseite des Chores noch durch nach innen vortretende segmentförmige Wandpfeiler verstärkt sind. Weiterhin im Schiffe nehmen diese inneren Pfeiler eine rechtwinkelige Grundform an, werden stärker, wie in demselben Masse die äusseren Strebepfeiler abnehmen, während an der Nordseite des Chores die Mauerflucht in die äussere der Strebepfeiler rückt und bei der geringen Weite des Chores die inneren Pfeiler vor der verstärkten Mauer wieder schwächer werden.

Diese verschiedenartigen Anlagen lassen gleichfalls den Nutzen der Strebepfeiler recht deutlich an den Tag treten. Die Mauermassen verhalten sich an der Nord- und Südseite etwa wie 8 : 7. Dabei ist die Absetzung der Strebepfeiler und der Abzug der Fensteröffnungen unberücksichtigt geblieben, welche auf der Nordseite fehlen. Noch grösser würde der Massenunterschied sich herausstellen, wenn die Fundamente mit in Rechnung gezogen würden.

Verbindung des Chores mit einem Schiffe gleicher Breite.

Die in die Längsrichtung fallende Polygonseite

Die in die Längenrichtung fallende Seite des Chorpolygones *b i* (Fig. 734) unterscheidet sich von den übrigen Polygonseiten durch die andere Stellung des Strebepfeilers bei *i*, wenn dem Chorpolygon nach Westen hin ein weiteres Gewölbejoch angefügt ist. Das äussere Wandstück wird unsymmetrisch und ausserdem etwas kürzer als die übrigen Polygonseiten. Diese Ungleichheit hat vornehmlich bei einfacheren Anlagen im Äusseren durchaus nichts Störendes, wie überhaupt jene, der modernen Architektur eigene Ängstlichkeit in Beobachtung der Symmetrie der gotischen Architektur fremd ist.

Es lassen sich aber auch innen und aussen symmetrische Wandflächen erzielen (vgl. Figur 734 rechts). Werden die inneren Pfeiler nach den in den Punkten *u* und *o* auf der Mauerflucht errichteten winkelrechten Linien gestaltet, und die inneren Pfeiler durch die Schildbogen *q r* verbunden, so kommen die Fenster innen und aussen in die Mitte zu stehen, aber der Abstand von dem Dienste *s* bis zu der Ecke *q* des den Schildbogen tragenden Pfeilers wird grösser als der von dem Dienste *u* bis zur Ecke *r*. Es erscheint sonach gewissermassen angezeigt, die zwischen *s* und *q* verbleibende Breite zum Aufsetzen der Kreuzrippen zu benutzen, welche demnach entweder mit dem Schildbogen auf dem entsprechenden Pfeilerteil oder auf einem vor die Fläche vorspringenden Kragstein oder Dienst aufsitzen können. Auf ersterem Wege kommen wir also zur Gestaltung eines inneren Wandpfeilers, welcher rechtwinkelig bleiben oder nach einem Kreissegmente gebildet werden kann, wie im Chore der Minoritenkirche in Duisburg (s. Fig. 735), auf letzterem Wege aber auf die in der rechten Hälfte von Fig. 734 gezeigte Anlage von besonderen Diensten für jede Rippe.

Durch diese Verschiebung des Dienstes *t* nach Osten und die Anordnung der Pfeilerecken ist aber die Gleichheit der Polygonseiten im Innern aufgehoben. Soll dieselbe bleiben, so muss der die Kreuzrippe tragende Dienst genau an die durch den Polygonwinkel angezeigte Stelle kommen, so dass *t u* gleich *b c* wird, mithin der die Gurtrippe tragende Dienst mit dem ganzen Strebepfeiler in demselben Verhältnisse weiter nach Westen geschoben wird. Hierdurch werden auch die äusseren Chorfelder zwischen den Strebepfeilern wieder gleich. Wir können jedoch die Bemerkung nicht unterlassen, dass es uns um diese Gleichheit weit weniger zu thun war, als darum, auch an diesem Beispiele zu zeigen, wie leicht sich die gotische Architektur dazu herleiht, allen Verhältnissen den angemessenen Ausdruck zu gewähren.

Die Gleichheit der Felder zwischen den Strebepfeilern ergiebt sich von selbst, wenn sich unmittelbar an den in *i* stehenden Dienst ein Langhaus setzt, welches

breiter als der Chor ist, und von letzterem durch einen der Mauerdicke ganz oder nahezu entsprechenden Bogen geschieden wird, so dass dem im Eckpunkte des Polygones stehenden Dienst *i* nur die Kreuzrippe aufsitzt.

Die anschliessenden Felder.

In der Regel aber wird das Chorpolygon noch durch ein oder mehrere vierseitige Joche von gleicher Spannung verlängert und giebt in solcher Gestalt zugleich die einfachste Grundform einer Kapelle oder einschiffigen Kirche ab. Die Länge dieser Joche kann entweder einer Polygonseite gleichkommen oder dieselbe übertreffen. Oft wird die letzte Seite des Polygones auch wohl mit Absicht merklich länger gemacht als die anderen, um zu den grösseren Seiten des Schiffes überzuleiten.

Die Zahl der vierseitigen Joche hängt von der Länge ab, welche die Kapelle erhalten soll, sowie von dem Verhältnisse dieser letzteren. Es ist vorteilhaft, wenn die Längenausdehnung die vorherrschende ist und mindestens der doppelten Breite gleichkommt, ferner gewinnt die Wirkung des Ganzen wesentlich, wenn die Länge durch eine grössere Zahl und nicht durch eine grössere Ausdehnung der Joche erzielt wird.

Der westliche Abschluss einschiffiger Kirchen.

Giebel mit Strebepfeilern.

Der westliche Abschluss wird einfachsten Falles durch *eine gerade Giebelmauer* gebildet, so dass in den sich bildenden Winkeln die Dienste zur Aufnahme der Rippen zu stehen kommen, welche mit den übrigen inneren Pfeilern und den westlichen Strebepfeilern in Einklang zu bringen sind.

Die Eckstrebepfeiler stehen winkelrecht zu den Mauerfluchten oder übereck. *Zwei winkelrecht gestellte Strebepfeiler* können entweder die Verlängerung der Mauerfluchten bilden, wie in der linken Hälfte von Fig. 734, oder aber gegen dieselben zurücktreten, so dass die Ecke zwischen ihnen frei zu Tage tritt, wie in der rechten Hälfte derselben Figur. Die erstere einfachere, aber die Beziehung der Strebepfeiler zu den Diensten übergehende Stellung zeigt aussen das Fenster noch weiter aus der Feldmitte gerückt, als dies bei der Seite *b i* des Chorpolygones der Fall ist. Die zweite Stellung mindert diesen Unterschied und bietet sogar die Möglichkeit, die Strebepfeiler genau nach den Diensten zu stellen und somit allen Unregelmässigkeiten im Innern wie im Äussern auszuweichen. Bei *u* in Fig. 734 ist diese regelmässige Anlage aus der bei *s* angenommenen Aufstellung von besonderen Diensten für jede Rippe entwickelt. Wenn ,wie in der linken Hälfte derselben Figur, sämtliche Rippen auf einem Dienst *i* sitzen, so rücken die Eckstrebepfeiler weiter auseinander und die punktierten Linien *p* werden die Mittellinien derselben. Noch weiter entfernen sich die Strebepfeiler von der Mauerecke bei tiefen Schildbogenblenden im Innern.

Der *übereckstehende Strebepfeiler* entspricht der Richtung des vereinigten Schubes sämtlicher auf die westliche Ecke des Gewölbes stossenden Rippen, welche hier durch die der Kreuzrippe angezeigt ist. Streng genommen müsste daher der Strebepfeiler bei ungleichen Jochseiten die Richtung von 45° verlassen und die der Kreuzrippe annehmen, gerade wie bei der Anordnung von zwei ins Kreuz gestellten Strebepfeilern der in der westlichen Richtung stehende schwächer sein

könnte als der andere. Indes ist diese Rücksicht auf die Grundform des Joches in der Regel nicht durch die Richtung des Eckstrebepfeilers, sondern durch eine Vergrösserung seiner Länge genommen, welche häufig dadurch bestimmt ist, dass die vordere Ecke in die Flucht der übrigen Strebepfeiler rückt. Dieser westliche Strebepfeiler steht aber bei einschiffigen Kirchen noch in Beziehung zu der westlichen Giebelmauer.

Giebel ohne Strebepfeiler

Es bedarf die Westmauer nämlich einer Verstärkung, einmal wegen ihrer grösseren freistehenden Länge, dann aber wegen der durch den Giebel und zuweilen noch durch ein aufgesetztes Glockentürmchen bewirkten Belastung. Durch diese Verstärkung aber so gut wie durch die Belastung wird sie in den Stand gesetzt, dem ohnedies geringeren, in der Längenrichtung wirkenden Gewölbeschub zu widerstehen. Deshalb können in gewissen Fällen die Strebepfeiler in westlicher Richtung entbehrt werden. In der rechten Hälfte von Fig. 734 könnte die Verstärkung der Giebelmauer z. B. in der Weise bewirkt werden, dass der innere Schildbogen mit in die Mauerdicke gezogen würde.

Ferner aber kann diese Verstärkung durch weiteres Vorrücken der Giebelmauer nach Westen erzielt werden, wodurch gewissermassen die Giebelmauer in die äussere Flucht des westlichen Strebepfeilers gerückt, mithin der äussere Pfeiler in einen inneren verwandelt wird. Dieser innere Pfeiler wird dann mit dem gegenüberliegenden durch einen Gurtbogen (Fig. 739) verbunden, welcher der westlichen Mauer die erforderliche Verstärkung und dem Giebel nebst dem etwa anzubringenden Türmchen eine breitere Basis gewährt. Die Verstärkung wird vollständiger, wenn anstatt eines einzigen, etwa drei Gurtbogen angeordnet sind, die auf Zwischenpfeilern aufsitzen (Fig. 739a).

Wir können hier die endlose Mannigfaltigkeit, welcher diese Anordnungen fähig sind, nur andeuten, zumal wir bei der Behandlung des Aufrisses der Giebelseiten darauf zurückkommen werden. Indes wird aus dem Gesagten schon erhellen, welche Vorteile für die westlichen Teile, die Türme, Portale, Treppen, Galerien und Umgänge daraus zu ziehen sind.

Da bei der oblongen Grundform der Joche der in der Längenrichtung wirkende Teil des Gewölbeschubes verhältnismässig gering wird, so findet sich an einzelnen sparsamer durchgebildeten Werken, vornehmlich an einzelnen Franziskanerkirchen, wie in Fritzlar und Treysa, dann an der Karmeliter-, der sogen. Brüderkirche in Kassel, der westliche Strebepfeiler an der Ecke der Giebelmauer selbst dann weggelassen, wenn die Giebelwand nicht verstärkt ist. Da der Wölbschub an der Ecke kleiner ist als an der fortlaufenden Wand (vgl. Fig. 366 und 367), erscheint eine gewisse Einschränkung der Widerlagsmasse an den Ecken berechtigt (bis herab auf etwa $^3/_4$ der sonstigen Stärke, vgl. S. 140); jedoch pflegt man meist aus anderen Gründen die Ecken nicht gern zu schwächen.

Bei den erwähnten Kirchen scheint das Fehlen der Strebepfeiler noch durch andere Betrachtungen veranlasst zu sein. Wenn nämlich in Fig. 740 die Fensterbreite so gering ist, dass vom Fenstergewände bis an die Giebelmauer noch eine gewisse Mauerlänge stehen bleibt, so lässt sich diese Mauerlänge *a b* als ein innerer Strebepfeiler betrachten, vorausgesetzt, dass die Werkstücke des Rippenanfanges, in welchem der Gewölbeschub aus dem Bogen herausgeht, mit der Mauer *a b* so innig verbunden sind, dass ein Herausschieben derselben nicht möglich ist. Man scheint auf diese Widerstandskraft sogar mit grosser Sicherheit gerechnet zu haben, denn an der erwähnten Kirche zu Treysa, ferner an den etwa der Mitte des 13.

Jahrhunderts angehörigen Kreuzflügeln zu Wetter sind überhaupt alle Strebepfeiler auf den Ecken weggelassen, indem man die Giebelmauer als inneren Strebepfeiler gegen den Schub in der Breitenrichtung ansah. Diese erwähnte Verbindung aber, von welcher die Sicherheit der Konstruktion abhängt, lässt sich allein durch eine grosse Länge der eingreifenden Werkstücke in der Richtung *a b* erreichen. Auf die Bindekraft des Mörtels ist dabei nicht sicher zu zählen, wie überhaupt alle Konstruktionen gewagt sind, welche mit einer Zugfestigkeit des Mauerwerkes rechnen.

So hat an der Kirche in Wetter diese Kühnheit die traurigsten Folgen gehabt, dass trotz der ausgezeichneten Güte des Mörtels die Giebelmauern an beiden Kreuzflügeln auf etwa 25 cm ausgewichen sind und sich von den Seitenmauern der Kreuzflügel völlig losgerissen haben. Dass aber in Wetter die erwähnten Folgen nicht etwa durch Senkungen der Fundamente verursacht worden sind, folgt aus dem vortrefflichen Zustand derselben, welchen eine angestellte Untersuchung ergeben hat. Fig. 741 zeigt den Grundriss des äussersten Joches eines dieser Kreuzflügel mit eingeschriebenen Massen. Da die Kreuzrippen Halbkreise, die Kappen von Bruchsteinen gewölbt sind, ist der Wölbschub ziemlich gross.

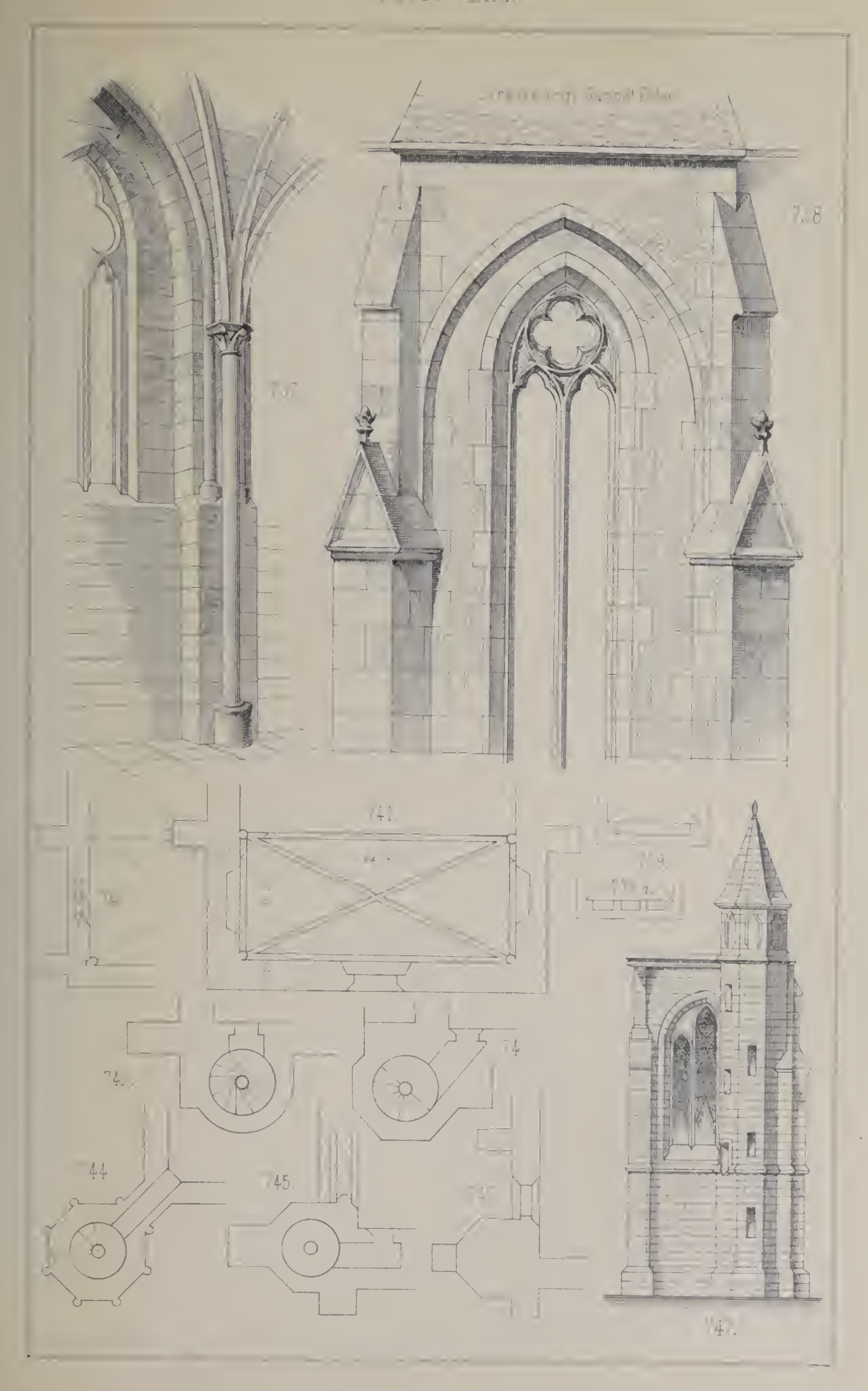
Die Annahme der völligen Untrennbarkeit der Mauer führte aber an den zweischiffigen Kirchen zu Fritzlar (s. Fig. 756) und zu Kassel darauf, auch die dem Schube der Scheidebogen entsprechenden Strebepfeiler an der Giebelmauer wegzulassen, indem man offenbar allein auf den Widerstand der ganzen Mauerlänge gegen das Umkanten, nicht aber auf die Herausschiebung des dem Schub des Bogens zunächst ausgesetzten Mauerteiles aus der ganzen Mauerflucht rechnete. Dieses Übersehen hat sich in beiden Fällen gestraft und die letzterwähnte Ausbauchung ist eingetreten.

Es darf nicht übersehen werden, dass stark schiebende Fensterbogen feste Widerlager an den Ecken verlangen, so dass bei breiten Fenstern die Eckstrebepfeiler unter Umständen sogar zu verstärken sind.

Treppentürme am Giebel.

Das Bedürfnis der Zugänglichkeit des Dachraumes oder der etwa in der Mauerdicke angebrachten Umgänge führt auf die Notwendigkeit einer Treppenanlage, welche entweder innerhalb der zu diesem Zwecke vergrösserten Mauerdicke, wie weiter unten gezeigt werden wird, oder in vorgelegten Treppentürmen untergebracht werden kann. Letztere finden aber an den westlichen Ecken eine besonders geeignete Stelle und können mit den Strebepfeilern in irgend einer Weise in Verbindung gebracht werden, oder ohne diese selbständig die Ecken verstärken, zumal sie vermöge der durch die Stufen bewirkten, fortlaufenden Querverbindung selbst bei geringer Mauerstärke ausreichende Standfähigkeit erhalten, um die Strebepfeiler zu ersetzen.

Diese Treppentürme werden am betreffenden Ort eine genauere Behandlung finden, hier können zunächst nur die verschiedenen Arten ihrer Grundrissanordnung erklärt werden. Es richtet sich dieselbe nicht nur danach, dass die Türme mit der Anordnung der Strebepfeiler sich passlich vereinigen, oder dem Gewölbeschub in vorteilhaftester Weise das Widerlager gewähren, sondern auch danach, dass die Lage der Ein- und Ausgänge günstig wird. So können sie nach Fig. 742 den Strebepfeilern anliegen, selbst so, dass der innere Raum in dieselben einschneidet, und dann je nach der Grösse der Strebepfeiler entweder mit denselben Flucht halten oder darüber hinausgehen oder zurückbleiben; oder sie können in dem Winkel zwischen denselben stehen, wie in Fig. 743; oder, wenn die Strebepfeiler in diagonaler Richtung stehen, am äusseren Ende derselben ihren Platz





finden, wie an den Kreuzflügeln der Kirche zu Friedberg (s. Fig. 744); oder an der Wurzel der Strebepfeiler liegen, so dass letztere an den Flächen des Treppenturmes vorspringen (s. Fig. 745). Auch können sie in einer der Fig. 745 ähnlichen Weise mit der oben gezeigten Anlage einer verstärkten Giebelmauer in Verbindung gebracht werden, wobei der westliche Strebepfeiler wegzulassen ist.

Die Anlage eines solchen Treppentürmchens kann es mit sich bringen, dass der für das Fenster des betreffenden Joches bestimmte Raum eine Beschränkung erleidet. In solchen Fällen kann entweder die Fensterbreite für dieses Joch verringert werden, wie Fig. 746 im Grundrisse zeigt, selbst in dem Masse, dass statt eines drei- oder mehrteiligen Fensters hier ein einfaches oder zweiteiliges angebracht wird, wie in dem westlichen Joche der Kirche in Friedberg, oder aber es wird das betreffende Fenster in völlig gleicher Gestaltung mit den übrigen angelegt, so dass das Treppentürmchen einen Teil desselben verschliesst, wie Fig. 747 im Aufrisse zeigt.

Noch ist zu bemerken, dass eine ängstliche Beobachtung der Symmetrie und des Parallelismus bei derartigen Anlagen am wenigsten am Platze ist und in vielen Fällen der Zweckmässigkeit und malerischen Wirkung Eintrag thut. Da eine Treppe genügt, findet sich bisweilen, selbst an solchen Werken, die in anderer Hinsicht von einer sparsameren Auffassung kein Zeugnis ablegen, wie z. B. die jetzt in Trümmern liegende Kirche des Klosters Obin in der Lausitz, nur ein Turm. Monumentaler freilich wird die Wirkung der Westseite, wenn auf jeder Ecke ein solches den Bau begleitendes Türmchen sich findet, wie an der heiligen Kapelle zu Paris, sie nähert sich dann der grossartigen Gestaltung der den grösseren Kirchen eigenen westlichen Doppeltürme.

Die Grösse solcher Treppentürmchen muss zwar mit den Abmessungen des Ganzen im Einklang stehen, richtet sich aber doch zunächst nach dem Zweck.

Untergeordnete Wendeltreppen können sich mit 1,5 m Durchmesser und weniger begnügen (HASE hat bei der neuen Kirche in Kalefeld eine Wendeltreppe von nur 1,2 m Durchmesser bei 7 cm Spindeldurchmesser ausgeführt). Im Gegensatze dazu haben die Wendeltreppen in den niedersächsischen romanischen Westtürmen (Gernrode, Frose usw.) 3–4 m Durchmesser und mehr.

Die Mauerstärke richtet sich nach der Ausführung, sowie danach, ob das Türmchen für sich bestehen oder noch einer darauf wirkenden Schubkraft widerstehen soll. Im ersteren Fall ist, zumal bei polygonaler Grundform des Äusseren, welche mit der runden des Innern eine beträchtliche Eckenverstärkung hervorbringt, wegen der fortlaufenden Querverbindung, durch die Stufen ein sehr geringes Mass hinreichend. So findet sich an der Marienkirche in Marburg ein sechseckiges Treppentürmchen, an welchem die Mauerdicke in der Mitte der Seiten nur 15 cm beträgt.

Solche Treppentürmchen sind zuweilen auch dem Innern eingebaut worden, wie dem südlichen Kreuzflügel von St. Severi in Erfurt, im Dome von Bern und dem westlichen Teile von St. Maclou in Rouen. Sie dienen dann ausschliesslich dazu, einen Lettner oder eine sonstige Bühne zugänglich zu machen, verdanken indes in der Regel späteren Veränderungen ihre Entstehung. Besonders schön sind die Treppen am gotischen Lettner in Naumburg a. d. Saale (s. gotisches

Musterbuch). Ebenso finden sich zuweilen gerad aufsteigende Podesttreppen im Innern, so in der Kathedrale von Rouen und in einfacherer Gestalt in der Kirche von Kloster Haina.

In der westlichen Giebelmauer findet sich in der Regel ein Eingang angebracht. Auch hier muss das Mass mit den Dimensionen des Ganzen in gewissen Grenzen harmonieren, jedoch vor allem eine übermässige Grösse vermieden werden, wie andrerseits das Bedürfnis schon ein Minimum setzt. Hinsichtlich der verschiedenen Portalanlagen sei auf den betreffenden Abschnitt verwiesen.

Die Verbindung des Chores mit einem breiteren Langhause.

Die einfachste Scheidung zwischen Chor und Langhaus ergiebt sich bei einschiffigen Kirchen durch eine grössere Breite des letzteren. Das durch ein oder mehrere vierseitige Joche verlängerte Chorpolygon öffnet sich dann durch den sogenannten Triumphbogen, *a b* in Fig. 748, nach dem Langhause, dessen östliche Quermauer dem erwähnten Bogen als Widerlager dient.

Der Triumphbogen.

Die symbolisch durch den Namen ausgedrückte Bedeutung dieses Bogens ist die, dass er den Zugang zu der Stätte eröffnet, an welcher der Triumph Christi über den Tod gefeiert wird. Oft befand sich unter diesem Bogen, frei auf einen Balken aufgestellt, die Skulptur der Kreuzgruppe etwa in Lebensgrösse. Abgesehen aber von dieser Bedeutung, welche dem Bogen eine gewisse Auszeichnung an Grösse und Gestalt vorschreibt, ist seine Verstärkung in konstruktiver Hinsicht aus mehrfachen Gründen notwendig. Dahin gehört ungleicher Wölbschub, Belastung durch einen Giebel, Schub des Fensterbogens (Fig. 748).

Bei gleich hohen Gewölben im Schiff und Chor könnte, wie Fig. 749 zeigt, in *a* ein einfacher Dienst stehen und von *a* nach *b* eine Gurtrippe gespannt sein, auch von *a* und *b* nach *c* könnten Rippen gespannt sein. Einer solchen Anordnung wäre der Vorzug eigen, dass sie den Zusammenhang zwischen Chor und Schiff fester zieht und die Gewölbe beider Teile zu einem Systeme vereinigt. Sollte dann eine Giebelmauer das Schiff nach Osten abschliessen, an welche das Chordach sich anlegt, so würde der diese Giebelmauer tragende Bogen oberhalb des Gewölbes gespannt sein müssen, wie die Scheidebogen mancher spätgotischer Kirchen (z. B. Marienkirche in Zwickau).

Einfacher als die Gestaltung von Fig. 749 ist jedoch die Anlage eines Gurtbogens, von *a* nach *b* (Fig. 748), dessen Breite, sowie die des Pfeilers in *a* von der Richtung der Kreuzrippe in dem anstossenden Joche des Chorgewölbes abhängig ist.

Chorschluss nach dem halben Zehnecke.

Die Figur 748 zeigt zugleich den Chorschluss nach dem halben Zehnecke. Die Eigentümlichkeiten dieser Grundform hinsichtlich der Anlage des Gewölbesystems sind schon oben erklärt. Die Mauer- und Pfeilerstärken könnten dieselben sein wie bei dem Chor aus dem Achtecke, nur könnte in diesem Falle für den vor *t* stehenden Pfeiler eine Verstärkung nötig werden, weil das anstossende Joch vermöge der Richtung der Rippen *C r* einen grösseren Schub ausübt, als dies bei dem achteckigen Chorschlusse der Fall war.

In Fig. 748 sind zwei parallele Joche noch mit zum Chore genommen, die gleiche Seitenlänge mit dem Polygon erhalten haben. Diese Gleichheit ist nicht geboten, wenn der Chor unmittelbar in das Schiff übergeht, weil dann die grössere Breite der Felder eine grössere Breite der Schiffsjoche bedingt.

Wie sorgfältig man an den mittelalterlichen Werken darauf bedacht war, allen und selbst den durch gewisse abnorme Anlagen sich ergebenden Richtungen des Gewölbeschubs den entsprechenden Widerstand entgegenzusetzen, und sogar Unregelmässigkeiten nicht scheute, das zeigt die Kirche zu Immenhausen bei Kassel. Hier ist der Chor breiter als das Mittelschiff, und sein Rippenanfang liegt höher. In Fig. 750 zeigt *a b* die Flucht der Südseite des Chores an, *m* das Mittelschiff und *s* das südliche Seitenschiff. Der weit gespannte Scheidebogen würde bei *c* in der Stärke des den Triumphbogen tragenden Pfeilers das erforderliche Widerlager nicht gefunden haben, deshalb ist unter dem Anfange der Kreuzrippe des Chores ein innerer Strebepfeiler *a b d e* angelegt. Dem Schube des Chorgewölbes dagegen in *a* zu widerstehen, ist wegen der geringen Länge der Joche oben die Mauerdicke *a f* hinreichend.

Der Triumphbogen kann auf vortretenden, von Grund auf angelegten oder ausgekragten Pfeilern oder Diensten sitzen oder unterhalb seiner Kämpferlinie ausgekragt sein oder endlich nach einer spätgotischen Weise sich zwischen die Fluchten der Chormauer spannen. Letzteres hat aber den Nachteil, dass der Triumphbogen und der anstossende Schildbogen des Chorgewölbes exzentrisch werden.

Der Verwendung einer ungleichen Breite für Chor und Schiff ist eine ungemeine Biegsamkeit eigen, die es ermöglicht, beschränkten Bedürfnissen und Mitteln zu entsprechen. Sie meidet Raumvergeudung, legt den Chor möglichst frei und bringt dabei eine für die ethische Bedeutung wie die malerische Wirkung gleichmässig vorteilhafte Scheidung von selbst hervor. Sie tritt besonders in ihre Rechte, wo beschränkte Verhältnisse auf die Bildung des Chores aus dem Vierecke führen, eine Anlage, die ohne diese Einziehung jede besondere Betonung des Chores aufheben und trotz des Mehraufwandes eine grosse Einförmigkeit hervorbringen müsste.

Einseitige Weitenzunahme.

Zuweilen ist die Breitenzunahme des Langhauses nur nach einer Seite angetragen, wie an der in Fig. 735 dargestellten Minoritenkirche in Duisburg. Derartige Unregelmässigkeiten mögen zunächst auf örtliche Verhältnisse zurückzuführen sein, wie auch die glatte Wandfläche der Nordseite auf einen hier befindlichen Anbau hindeutet, können indes nebenbei für die Benutzung gewisse Vorteile gewähren. Im vorliegenden Falle ergab sich an der Wandfläche *a b* dadurch der Raum für den Pfarraltar, für welchen die Hälfte dieser Breite nicht genügt hätte. Auch für die seitlich stehende Kanzel kann sich ein guter Platz ergeben.

Kirche mit Kreuzschiffen.

Statt durch Zunahme der Schiffsbreite lässt sich eine Raumerweiterung noch durch Zufügung eines Kreuzschiffes bewirken, welche sich mit dem die Verlängerung des Chores bildenden Mittelschiffe vor dem Triumphbogen durchdringt.

Eine Kreuzform ergiebt sich in einfachster Weise durch Niederklappen der sechs Seitenflächen eines Würfels, von welchen die östliche durch ein Polygon abgeschlossen werden kann (s. Fig. 751). Derartige einfache Kreuzformen sind bei romanischen Kirchen nicht selten, sie zeigen quadratische Felder, die mit gewöhnlichen oder sechsteiligen Kreuzgewölben überdeckt sein können. Diese lassen sich dann in den Quadraten der Kreuzschiffe noch dahin umbilden, dass in der Mitte der Seiten ein Pfeiler angenommen wird, von welchem aus eine halbe Rippe nach

dem Scheitel des Gewölbes sich spannt, so dass also das Gewölbe in 7 Teile zerfällt, wie an den Kreuzflügeln der Kirche zu Wetzlar.

Sowie die oblongen Kreuzgewölbe gewissermassen eine Emanzipation von der quadratischen Grundform in sich schliessen, so wird die Anwendung derselben auf die Kreuzkirche darauf führen, dem Mittelquadrate nach Osten und nach Westen eine wechselnde Anzahl oblonger Joche und nach Süden und Norden gleichfalls je ein oder mehrere Joche anzufügen. Die Verhältnisse der verschiedenen Joche können dann nach den obwaltenden Raumbedürfnissen in den einzelnen Kreuzarmen die gleichen oder verschiedene sein. S. Fig. 752.

Das Mittelquadrat ist in der Regel durch stärkere, dem Triumphbogen entsprechende Bogen begrenzt. Wenn schon sie hier mit minderer Bestimmtheit durch die Konstruktion gefordert werden, so sind sie doch immer von grossem Nutzen. Sie gewähren ungleichen Spannungen der Kappenschichten ein sicheres Widerlager, was sich darin ausspricht, dass die grössere Weite des Mittelquadrates den geringeren der übrigen Joche gegenüber auch für das Auge einen solchen bestimmteren Abschluss zu fordern scheint. Sie gewähren ferner den oberhalb des Gewölbes befindlichen Konstruktionen, zunächst also dem Dache oder etwa einem Zentralturme, die notwendige Basis, eine Notwendigkeit, die sich im Innern freilich nur aussprechen kann, wenn das Gewölbe des Mittelquadrates über die übrigen hinaus, also in das Innere des Turmes oder Daches gerückt ist, wie in vielen romanischen Kirchen und auch in St. Maclou in Rouen. Von dem Masse der Belastung hängt daher die Stärke des Bogens und der denselben tragenden, die Ecken verstärkenden Wandpfeiler ab.

Setzt man beispielsweise, wie in Fig. 752, die Bogenbreite gleich der Mauerstärke und konstruiert den Bogen aus zwei konzentrischen Schichten, so bilden sich hiernach die Eckpfeiler, deren Grundriss Fig. 752a darstellt, während *a b c* in derselben Figur die Anordnung der sonstigen Dienste zeigt. Bei reicherer Gliederung ergiebt sich der in Fig. 752b dargestellte Grundriss, in welchen *a b c* wieder die Dienste des Schiffes darstellt. Die bedeutenden in solcher Weise entstehenden Vorsprünge lassen sich verringern durch Auskragung der Dienste in allen denkbaren Abstufungen. Bei Anordnung eines Zentralturmes müssen die Gurtbogen und Eckpfeiler noch weiter verstärkt werden.

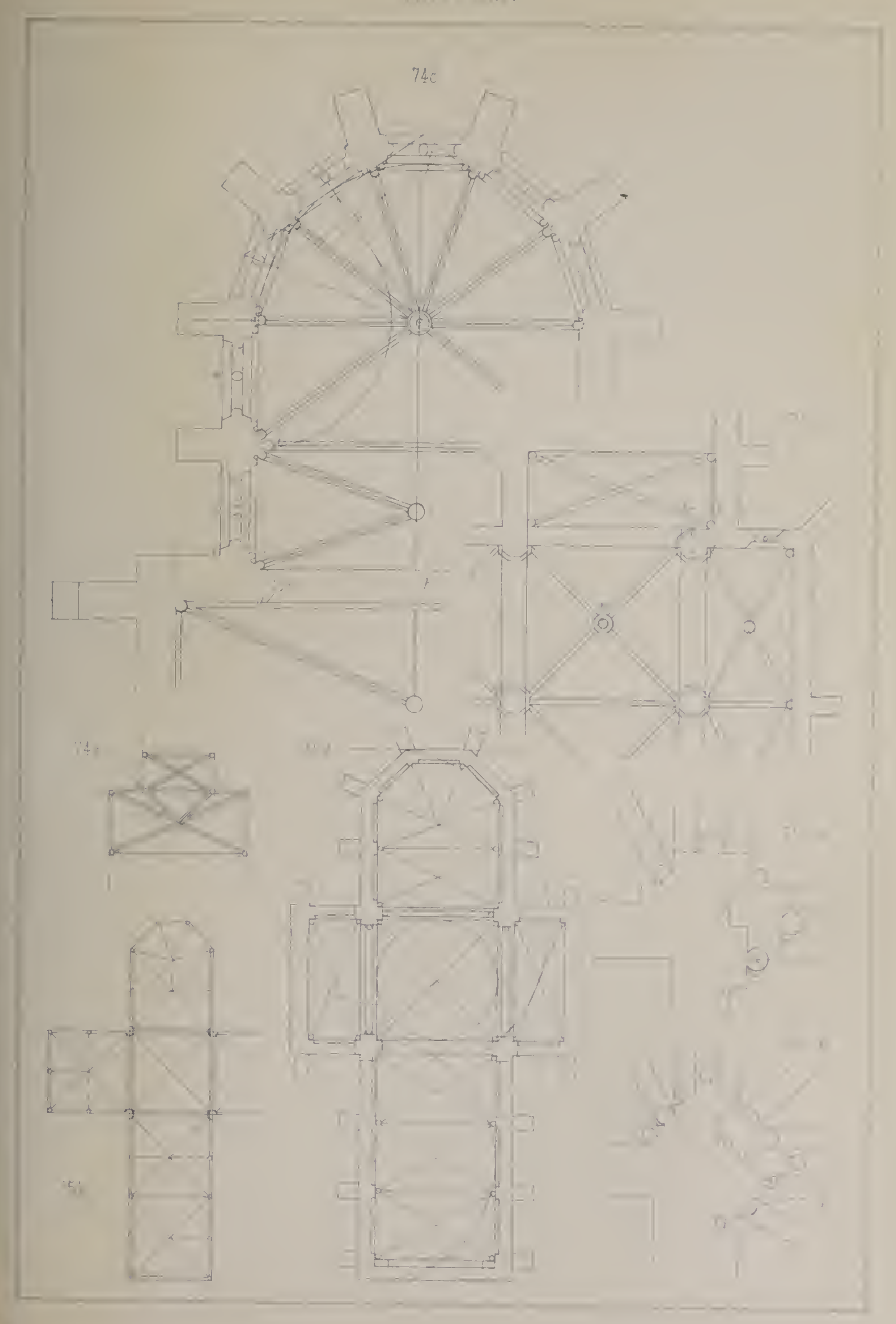
Die Kreuzkirche hat vor der in Fig. 748 gezeigten Erweiterung des Schiffes den Vorzug einer mehr organischen und einheitlichen Entwickelung, die Wirkung ist im Innern wie im Äussern reicher und mannigfaltiger. Dabei bietet die Grundform selbst schon in glücklicher Weise der Schubkraft des weitgespannten Mittelgewölbes die Widerlager, indem die Seitenmauern der Kreuzflügel zu demselben in die Stellung der Strebepfeiler treten und somit auch das Aufsetzen eines Zentralturmes ohne besonders grosse Verstärkungen ermöglichen.

Geometrische Beziehungen in den Grundrissmassen einschiffiger Kirchen. Verhältnis der Widerlager zu den Spannweiten.

Man hat vielfach versucht, nach Überlieferungen und Messungen bestimmte geometrische Beziehungen in allen Teilen der alten Bauwerke im Grundriss und Aufriss aufzudecken und in ihnen das „arcanum magistri“ vermuten wollen.

Dass Wiederholungen gleicher oder ähnlicher Teile, gesetzmässige stetige Längen-

Tafel XXIV





abnahmen sowie manche geometrische Teilungen, die sich aus dem regelmässigen Sechseck oder Achteck, aus dem Verhältnis der Quadratseite zur Diagonale usw. herleiten lassen, viel dazu beitragen können, den Eindruck eines Kunstwerkes ruhig, klar und ansprechend zu machen, ist sattsam bekannt und ist den alten Meistern ebenso wenig entgangen als den neueren. Man scheint sogar im Mittelalter, besonders in der Spätgotik, solche Ausmittelungen der Längen mit Fleiss geübt zu haben (vgl. darüber weiter hinten: Die Systeme der geometrischen Proportion).

Daraus aber schliessen zu wollen, dass ein ganzes Bauwerk im grossen und kleinen in ein starres, immer wiederkehrendes Zirkelgewebe gezwängt sei, ist selbst für die späteren Werke gewagt, für die Schöpfungen der Frühzeit aber im Widerspruch stehend zu deren eigenem Ausweis. Gerade dadurch ist die Kunst jener Zeit zu ihrer edlen Blüte gelangt, dass sie wie keine andere frei von schablonenhaften Fesseln und doch mit gehaltvoller Strenge von Fall zu Fall aus dem inneren Wesen der Sache heraus schuf.

Stärke der Widerlager nach Erfahrungsregeln.

Es kommen geometrische Beziehungen nicht nur des architektonischen Ausdruckes wegen in Frage, sondern auch bezüglich der statischen Erfordernisse, besonders ist es das Verhältnis zwischen Wölbweite und der Wand- oder Pfeilerstärke, welches bei seiner Wichtigkeit in den Vordergrund tritt. Wir haben uns daran gewöhnt, für die alltäglichen Wölbungen der Praxis die Widerlagsstärke als Bruchteil der Spannweite (z. B. $1/_3$, $1/_4$ usf.) festzusetzen, es ist zu natürlich, ähnliche Erfahrungssätze auch für die Kirchengewölbe aufzustellen, nur liegen hier die Verhältnisse weniger einfach. So lange die Ergebnisse der Statik dem Praktiker nicht brauchbar oder handlich genug sind, müssen für ihn derartige Anhalte in der That als Ersatz dienen, mit Recht haben es daher auch neuere Meister für wichtig genug gehalten, geeignete Regeln aufzustellen. Einige der bräuchlichsten mögen folgen.

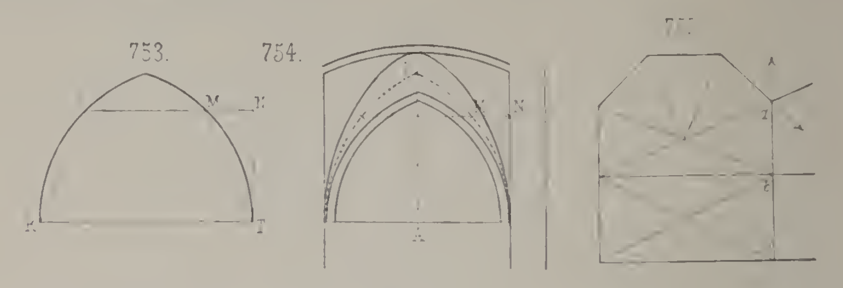
1. Hoffstadt entwickelt in seinem gotischen ABC die Abmessungen für Mauer und Strebepfeiler, auf Grund einiger der spätesten Periode angehöriger Manuskripte, aus dem Chorpolygon, indem er für die Mauerdicke und Strebepfeilerdicke $1/_{10}$ der lichten Chorweite und für den Vorsprung der Strebepfeiler vor der Mauerflucht die Diagonale des mit obiger Grösse gebildeten Quadrates annimmt. (In Lacher's Unterweisung — s. vermischte Schriften von A. Reichensperger, Leipzig, T. O. Weigel — findet sich diese Länge aus einer Verdoppelung der Dicke gebildet.) Die Gesamtlänge des Strebepfeilers würde nach Hoffstadt nahezu $1/_4$ (genauer 0,2414) der Spannung werden.

2. Viollet-le-duc giebt in seinem dictionnaire de l'arch. (IV, S. 63) ein angeblich noch im 16. Jahrh. geübtes Verfahren, wonach in den Bogen drei gleiche Teile eingetragen werden ($RS = SM = MT$, Fig. 753) und der Abstand des Teilpunktes von dem im Endpunkt errichteten Lot, also MN die Widerlagsstärke angiebt, die bei T nach aussen abzutragen ist. Beim Halbkreis beträgt dieselbe $1/_4$ der Spannweite, beim Spitzbogen je nach seiner Steilheit $2/_9$, $1/_5$ bis $1/_6$. Als Grenze für die Gültigkeit wird die Widerlagshöhe von $1\,1/_2$ Spannweiten bezeichnet.

3. Hase schlägt ein ähnliches aber vollkommeneres Verfahren ein. Er bestimmt die Länge des Strebepfeilers gleichfalls durch die Dreiteilung des Gewölbequerschnittes (s. Fig. 753 und Fig. 754), setzt dann aber für je $4\,1/_2$ m Widerlagshöhe 15 cm hinzu. Bestehen die Widerlager dieser Stärke aus schwerem natürlichem Stein, so vermögen sie ein „leichtes" Werkstein- oder kräftiges Ziegelgewölbe zu tragen, bestehen sie aus gewöhnlichen Ziegelsteinen, so genügen sie für ein leichtes Ziegelgewölbe. Diese Stärken passen für eine einschiffige Kirche, wenn die Wand etwas mitträgt; für eine dreischiffige Kirche (Verhältnis der Schiffsweiten etwa 2 : 1) genügen sie vollauf, wenn die Spannung des Mittelschiffes zu Grunde gelegt wird; allenfalls reichen sie auch noch für die äusseren Strebepfeiler, welche die Strebebogen für das Mittelschiff aufnehmen. Es

sind dabei rechteckige Gewölbfelder vorausgesetzt, deren Seiten sich etwa wie 2:3 verhalten. Sind die Wölbfelder mehr quadratisch, so sind die Widerlagen entsprechend zu verstärken.

Die solcher Art gefundene Länge des Strebepfeilers ist meist auch für die Polygonecken des Chores anzuwenden. Zwar haben die Strebepfeiler der Jochfelder *b* und *c* ein grösseres Gewölbestück aufzunehmen als der Chorpfeiler *a*, sie sind aber wieder dadurch im Vorteil, dass sich für sie der Schub der Schildbogen aufhebt, während er bei *a* in die Richtung der Pfeile fällt und eine Resultierende auf den Strebepfeiler trägt. Für längere Joche, besonders für quadratische, ist eine Verstärkung der Widerlager nötig.



Vergleicht man die aufgeführten Regeln, so findet man eine ziemlich grosse Übereinstimmung derselben unter einander. Prüft man sie durch Gegenüberstellen mit alten Werken oder durch statische Berechnungen, so erkennt man, dass sie für mittlere „nicht zu ungünstige“ Verhältnisse recht gut zutreffend sind. Immer dürfen sie aber, wie auch ihre Urheber aussprechen, nur als ungefähre Anhalte dienen, sie müssen in besonderen Fällen Abänderungen erfahren. Als das beste der angegebenen Verfahren muss das dritte von C. W. HASE bezeichnet werden. Sollen wir noch eine vierte, auf Grund statischer Untersuchungen (siehe vorn) entwickelte Regel hinzufügen, so würde es die folgende, der Hase'schen verwandte, sein.

Auf statische Untersuchungen gestützte Regel.

4. Mit der „durchschnittlichen“ Pfeilhöhe des Gewölbes *AB* in Fig. 754 (zwischen derjenigen des Gurtes und des Schlusssteines liegend) konstruiert man einen Spitzbogen (bezw. Halbkreis) und trägt in diesen nach Massgabe der Figur 753 drei gleiche Teile ein, um das Grundmass der Strebepfeilerlänge zu erhalten (*MN* in Fig. 753). Statt dessen kann man auch unmittelbar annehmen für den Halbkreis ein Viertel der Spannweite, für einen niederen Spitzbogen (Pfeilhöhe etwa 2:3) „$^2/_9$“ und für einen höheren Spitzbogen (bis 60° oder Pfeilhöhe 5:6) $^1/_5$ bis herab auf $^1/_6$ der Spannweite. Dazu addiert man für jedes Meter Widerlagshöhe unterhalb des Wölbanfanges 5 cm. Die Widerlager kleiner Wölbungen unter etwa 5 m Spannweite erfordern ausserdem noch einen Zuschlag von 20—30 cm.

Derart bemessene Strebepfeiler können bei Ausführung in schwerem natürlichem Stein leichte Gewölbe aus gleichem Material (z. B. Sandsteinkappen von 15—20 cm Dicke) tragen; bei Ausführung in mittelschwerem Ziegelstein können sie Kappen von 12 cm aus gewöhnlichen nicht zu schweren Backsteinen aufnehmen, die bei mehr als 8 bezw. 10 m Spannung auch auf $^3/_4$ bezw. 1 Stein Stärke gebracht werden dürfen. Bei Gewölben aus porösen Ziegeln oder Schwemmsteinen können die Ziegelwiderlager um 5 %, die Werksteinwiderlager um 10—15 % verkürzt werden. Von oben belastete oder aus schwerem Bruchstein bestehende Gewölbe verlangen dagegen stärkere Stützen.

Es sind quadratische Wölbfelder vorausgesetzt, welche ohne Mithülfe der Wand durch Strebepfeiler der üblichen Form (Dicke zwischen $^1/_2$ und $^1/_3$ der unteren Gesamtlänge und schwache Verjüngung nach oben, etwa nach der durchschnittlichen Neigung 20:1) getragen werden. Sind die Wölbjoche Rechtecke, deren lange Seite als Spannung in Rechnung gesetzt ist, so kann, je nachdem sich das Längenverhältnis des Rechteckes wenig oder mehr vom Quadrat entfernt, eine Verringerung des Pfeilervorsprunges um 5—15 % stattfinden. Trägt die mässig durchbrochene Wand wesentlich mit, so ist eine weitere Abnahme um 10 % und mehr zulässig.

Für ein- und zweischiffige Kirchen ist die Anwendung dieser Regel sehr einfach, man legt die Spannweite der Gewölbe zu Grunde, welche zwischen den Fluchten der Schildbogen (nicht im Lichten der Vorlagen) zu messen ist. Bei dreischiffigen Kirchen hängt es von der Stabilität des Mittelpfeilers und der Druckführung über dem Seitenschiff (vgl. Fig. 350 bis 355) ab, ob man die Strebepfeiler nach der Weite des Mittelschiffes bemisst oder nach einer Spannung, die zwischen Mittel- und Seitenschiff vermittelt. Die Widerlager nur nach dem schmaleren Seitenschiffe zu bemessen, ist selten statthaft.

Für verstrebte Basiliken können bei nicht zu flacher Führung leichter Strebebogen die vorbeschriebenen Stärkeausmittelungen auch wohl für die Stützpfeiler der Strebebogen Anwendung finden, wenn man die Spannweite des Mittelschiffes und auch die Widerlagshöhe des letzteren zu Grunde legt. Doch sollte man sich für diesen wichtigen Pfeiler lieber nicht auf solche Regeln zu sehr verlassen, sondern immer die Mittelkraft des Druckes aufsuchen, indem man die Schwerkraft des Pfeilers usw. mit der Schubkraft des Strebebogens (bei richtiger Konstruktion höchstens gleich dem Wölbschub vermehrt um einen Teil des gegenüber wirkenden Winddruckes) zusammensetzt. S. S. 171 und hinten: Querschnitt der Basilika.

Die richtige Feststellung der Widerlager ist wohl als die wichtigste Frage der ganzen mittelalterlichen Konstruktionslehre anzusehen. Irrtümer in diesem Punkte sind nach beiden Richtungen misslich; übermässige Stärken steigern die meist recht knapp zugemessenen Kosten, unzulängliche Abmessungen bringen nicht nur den Bestand des Bauwerkes, sondern auch Menschenleben in Gefahr.

Will man die vielen Nebenumstände: Pfeilhöhe, Form und Stärke der Gewölbe, Gewicht des Baustoffes für Gewölbe und Widerlager, Form und Höhenverhältnisse der letzteren, besondere Oberlasten der Gewölbe und Wände, Wind u. dgl. gebührend in Rücksicht ziehen, so können die besten Regeln nicht mehr ausreichen, es ist dann entweder ein geschultes konstruktives Gefühl oder, wo dieses im Stich lässt, die Rechnung von nöten. Beide sind gar nicht so sehr von einander verschieden, das, was man „Gefühl“ nennt, ist nichts weiter als die durch Erfahrung gestützte vernunftmässige Erwägung der wichtigsten in Frage stehenden Momente; die „statische Untersuchung“ setzt genau dasselbe logische Abwägen voraus, das nur an den weniger klar übersehbaren Punkten durch weitere Hülfsmittel (theoretische Ermittelungen) gefördert wird.

Gerade bei den hier vorliegenden Konstruktionen kommt es weit mehr auf richtige Grundannahmen an, als auf die mehr oder weniger exakte Durchführung der Rechnung, — Vereinfachungen und Abrundungen der letzteren, welche das Endergebnis um einige Prozent ungenau machen, schaden dem Bauwerke nichts, wohl aber grobe Fehler in den grundlegenden Annahmen.

Bei der Wichtigkeit der Sache schien es angezeigt, einen ganzen Abschnitt (S. 125—176) der vorigen Neuauflage dieses Lehrbuches über das Verhalten der Pfeiler und Widerlager und ihre an sich sehr einfach durchführbare Stärkebestimmung einzuschalten. Wie abweichend sich die Widerlager je nach Umständen ergeben, wird ein Blick auf die Tabellen 2—4 (S. 156—158) zeigen, die dortigen Angaben würden sogar noch grössere Schwankungen zeigen, wenn die Tabellen noch auf andere Fälle, z. B. das gemeinsame Verhalten von Wand und Strebepfeiler, den Einfluss von Oberlasten über den Gewölben oder Widerlagern ausgedehnt wären.

Stellt man die Widerlagsstärken geschichtlicher Beispiele zusammen, so tritt diese in der Sache begründete Verschiedenheit krass zu Tage, abgesehen von

Ausnahmebildungen schwankt die Dicke voller pfeilerloser Wände etwa zwischen $^1/_7$—$^1/_4$ (meist $^1/_5$—$^1/_6$), die Länge der Strebepfeiler zwischen $^1/_7$—$^1/_2$ (meist $^1/_4$—$^1/_3$) und die Mauerstärke zwischen den Strebepfeilern zwischen $^1/_6$ bis etwa $^1/_{14}$ (meist $^1/_8$—$^1/_{10}$) der lichten Gewölbweite.

2. Die zweischiffige Kirche.

Allgemeine Grundform.

Die Anlage einschiffiger Kirchen ist an gewisse Grenzen hinsichtlich der Spannung der Gewölbe gebunden. Zwar finden sich einzelne Werke von ungewöhnlich weiter Spannung, wie die Kuppelkirchen des südlichen Frankreich von 12—15 m Spannweite und darüber, ferner die Kathedrale von Alby und die Dominikanerkirche in Gent, welche ca. 19 und 16 Meter zwischen den Wandpfeilern messen, wie denn die Ausführung der Gewölbe in rein konstrukiver Hinsicht über noch grösseren Weiten möglich wäre, aber die Vorteile solcher weiter Räume sind sehr zweifelhaft. Die dadurch geforderte bedeutende Zunahme an Höhe vergrössert den räumlichen Inhalt in einer für die Ausfüllung des Raumes mit vokalen oder instrumentalen Mitteln ungünstigen Weise, erschwert und verteuert die Ausführung und macht einen gesteigerten Reichtum der architektonischen und dekorativen Behandlung nötig, um über die frostige Wirkung des leeren Raumes hinauszukommen. Es geht damit wie mit den übermässig breiten Strassen und weiten Plätzen, an welchen die pomphaftesten Gebäude doch zu keiner Wirkung gelangen können. Die mehrfach angeführte Kirche vom Kloster Oybin misst im Schiff 10,80 m, die Johanniskirche in Riga (Fig. 736) im Lichten 11,10 m, es dürften das Abmessungen sein, welche unter bescheidenen Verhältnissen für einschiffige Anlagen noch rätlich sind, über welche hinaus aber die Teilung in mehrere, zunächst in zwei Schiffe, geeigneter erscheint.

Zweischiffige Kirchen zeigen, von Ausnahmebildungen abgesehen, eines der folgenden beiden Systeme. Nach dem einen setzt sich der Chor in einem gleichbreiten Hauptschiff fort, welchem nur auf der einen Seite ein schmaleres Nebenschiff sich anschliesst; nach dem anderen sind beide Schiffe gleich und werden durch eine mittlere Pfeilerreihe geschieden, deren Achse in die Verlängerung der Chorachse fällt.

Nebenschiff an einer Seite.

Erstere Anlage findet sich fast ausschliesslich in den Kirchen der Bettelorden, besonders häufig in den hessischen Gegenden, an den Franziskanerkirchen zu Fritzlar (Fig. 756), zu Treysa, der Karmeliter-(Brüder)kirche zu Kassel.

Wenn auch räumliche Beengung bei Annahme dieses Grundrisses mitgewirkt haben mag, wie sich in den angeführten Fällen wenigstens durch die Fensterlosigkeit der Mauer des Hauptschiffes kundgiebt, so ist ihm dennoch der bei manchen Wiederherstellungen übersehene Vorzug für die Predigt eigen, dass die Kanzel an der völlig geschlossenen Mauerfläche den beiden offenen Schiffen gegenüber einen in akustischer Hinsicht besonders günstigen Platz erhält.

Die geschlossene Wandfläche kann in wirksamer Weise belebt werden durch innere durch Bogen verbundene Mauerpfeiler, die den Anbauten etwa hinderliche Vorsprünge der Strebepfeiler nach

aussen vermeiden lassen. An der Franziskanerkirche in Fritzlar, deren Grundriss die Fig. 756 zeigt, ist zwischen den erwähnten zu diesem Zweck mit Durchgängen versehenen Pfeilern ein Laufgang an der Innenseite vorgelegt.

Wenn die äusseren Anbauten nicht die ganze Höhe des Hauptschiffes haben, wie dies etwa bei Kreuzgängen der Fall sein würde, so könnte oberhalb des Dachanschlusses derselben den Strebepfeilern auch nach aussen ein Vorsprung gelassen werden, wie an der Minoritenkirche in Duisburg (Fig. 735). Die Wirkung der glatten Mauerfläche kann wechselvoller und die Widerlagsfähigkeit der Wand gesteigert werden, wenn die Wand oben nach innen übergesetzt wird und zu ihrer Unterstützung Bogen zwischen den Pfeilern im Inneren geschlagen werden.

Zwei gleiche Schiffe.

Die Kirche mit Nebenschiff ähnelt einer dreischiffigen Kirche, deren eines Schiff fehlt, dagegen zeigt die Kirche mit einer mittleren Pfeilerreihe wieder die axiale Verbindung des Chores mit einer Halle, wie bei der einschiffigen Kirche in Fig. 748, nur dass die Weite der Halle hier in zwei Schiffe geschieden wird.

Die Vorzüge dieser Anlage bestehen darin, dass die verringerte Spannweite der Gewölbe die Ausführung derselben erleichtert, weitaus geringere Höhenverhältnisse, geringere Mauer- und Strebepfeilerstärken fordert und somit eine nicht unerhebliche Kostenersparnis verursacht, während die mittlere Pfeilerreihe, für welche nur ein Minimum von Stärke erforderlich ist, keinen irgend beachtenswerten Übelstand hervorbringt. Sie erhöht die malerische Wirkung des Inneren an sich und hebt sie ganz besonders noch durch die Verbindung der verschiedenartigen Gewölbesysteme des Chores und Schiffes. Zugleich führt sie auf eine vorteilhafte Einteilung des Inneren durch einen Mittelgang. Die Anlage dieses letzteren lässt die Pfeiler bis zum Boden hinab frei von dem schwer zu vermeidenden Gestühl, so dass das ganze System gerade gewöhnlichen Bedürfnissen gegenüber sich als vorzüglich anwendbar herausstellt.

Das Verhältnis der Chorbreite zu der Schiffbreite kann wechseln, so dass der Durchmesser des Chores zwischen ein und zwei Schiffbreiten sich bewegt.

Als abweichende Lösungen des Choranschlusses seien angeführt die Pfarrkirche zu Paierbach, Niederösterreich, deren Chor seitwärts gegen die Mitte verschoben ist, die kleine romanische Friedhofskirche zu Schönna in Tirol, welche vor jedem der beiden Schiffe dieselbe halbrunde Apsis hat, (vgl. auch Nikolaikirche zu Soest, Kirche zu Girkhausen usw.) und der Seitenbau der Pfarrkirche zu Enns (siehe alle drei in dem Atlas kirchlicher Denkmäler im österreichischen Kaiserstaat), dessen Chor die volle Breite beider Schiffe einnimmt, aber durch vier in Quadratform aufgestellte Säulen in drei Teile zerlegt wird. Überhaupt zeigen die zahlreichen zweischiffigen Kirchen, die über fast alle Gebiete des nordwestlichen Europa bis nach Estland hinein zerstreut sind, immer neue wechselvolle Lösungen. Kirchen mit zwei gleichen Chören vor den beiden Schiffen, die man als Zwillingsbauten bezeichnen könnte, treten in der Spätgotik wieder auf, so in Hallstadt, Berchtesgaden und Schwaz, letztere ist durch Zufügung von Seitenschiffen vierschiffig geworden.

Stärke der Wände und Pfeiler zweischiffiger Kirchen.

Aussenwand.

Die Stärke der Aussenwände und Strebepfeiler hängt bei zwei gleichen Schiffen nur von dem Schube eines Schiffes ab, sie ist daher im allgemeinen genau so zu bemessen wie nach Seite 153 und 271 bei einer einschiffigen Kirche von gleicher Wölbspannung, also von halber innerer Breite. Höchstens könnte der Winddruck gegen die grössere Dachfläche der zweischiffigen Kirche in einzelnen Fällen eine Verstärkung erheischen.

Bei zwei ungleichen Schiffen (Fig. 750) gelten für die eine Wand die Bedingungen der einschiffigen, für die andere Wand die der dreischiffigen Kirchen.

Mittelpfeiler. Die Stärke der Mittelpfeiler richtet sich danach, ob dieselben nur Gewölbe tragen, oder ausserdem noch einen Teil der Dachlast aufnehmen. Wenn man von Lastschwankungen absieht, so hebt sich bei gleicher Schiff- und Pfeilerweite der Wölbschub allseits auf. Es wird dann der Pfeiler nur durch die ihm aufiagernde senkrechte Last auf Zerdrücken beansprucht, wodurch ein nur geringer Querschnitt bedingt wird, der sich leicht durch Rechnung ermitteln lässt.

Wenn z. B. auf dem Pfeiler a in Fig. 759 vier quadratische Gewölbe von 7 m Weite zusammenstossen, so wird auf dem Pfeiler die Wölbfläche r s p s ruhen, welche 7·7 = 49 qm Grundrissausdehnung hat und unter Annahme des Einheitsgewichtes von 450 kg auf 1 qm (vgl. Tabelle auf Seite 138, Zeile VII) 49·450 = 22050 kg trägt. Besteht der Pfeiler aus Ziegelsteinen in Kalkmörtel mit 7 kg zulässiger Beanspruchung auf 1 qcm, so würde eine Pfeilerfläche von 22050 : 7 = 3150 qcm, also bei runder Grundform ein Pfeiler von 63 cm Durchmesser erforderlich sein.

Soll der Pfeiler aus gewöhnlichem Kalk- oder Sandstein bestehen, dem man 16 kg auf das qcm zumuten will, so braucht seine Grundfläche nur 22050 : 16 = 1378 qcm zu halten, woraus sich ein Durchmesser von 42 cm berechnet.

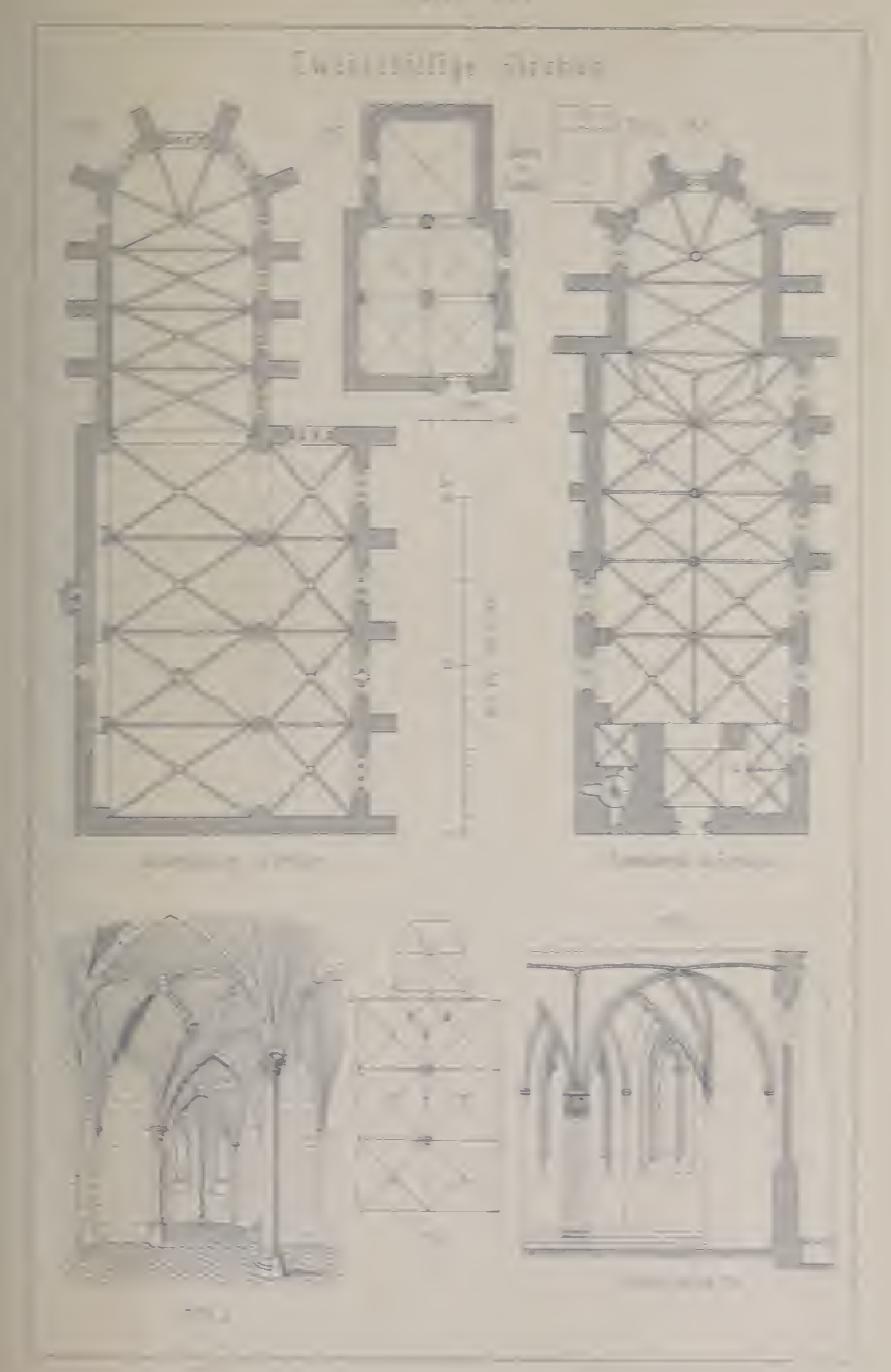
Im unteren Teil des Pfeilers hat sich dessen Eigengewicht der Oberlast zugesellt und somit die Pressung etwas vergrössert, es ist daher den berechneten Pfeilerdurchmessern von 63 bez. 42 cm noch ein entsprechender Zuwachs je nach Höhe des Pfeilers zu geben. Im übrigen sind die in Rechnung gestellten Pressungen von 7 kg für Ziegel und 16 kg für Werkstein bei guter Ausführung und gutem Baustoff als mässig anzusehen.

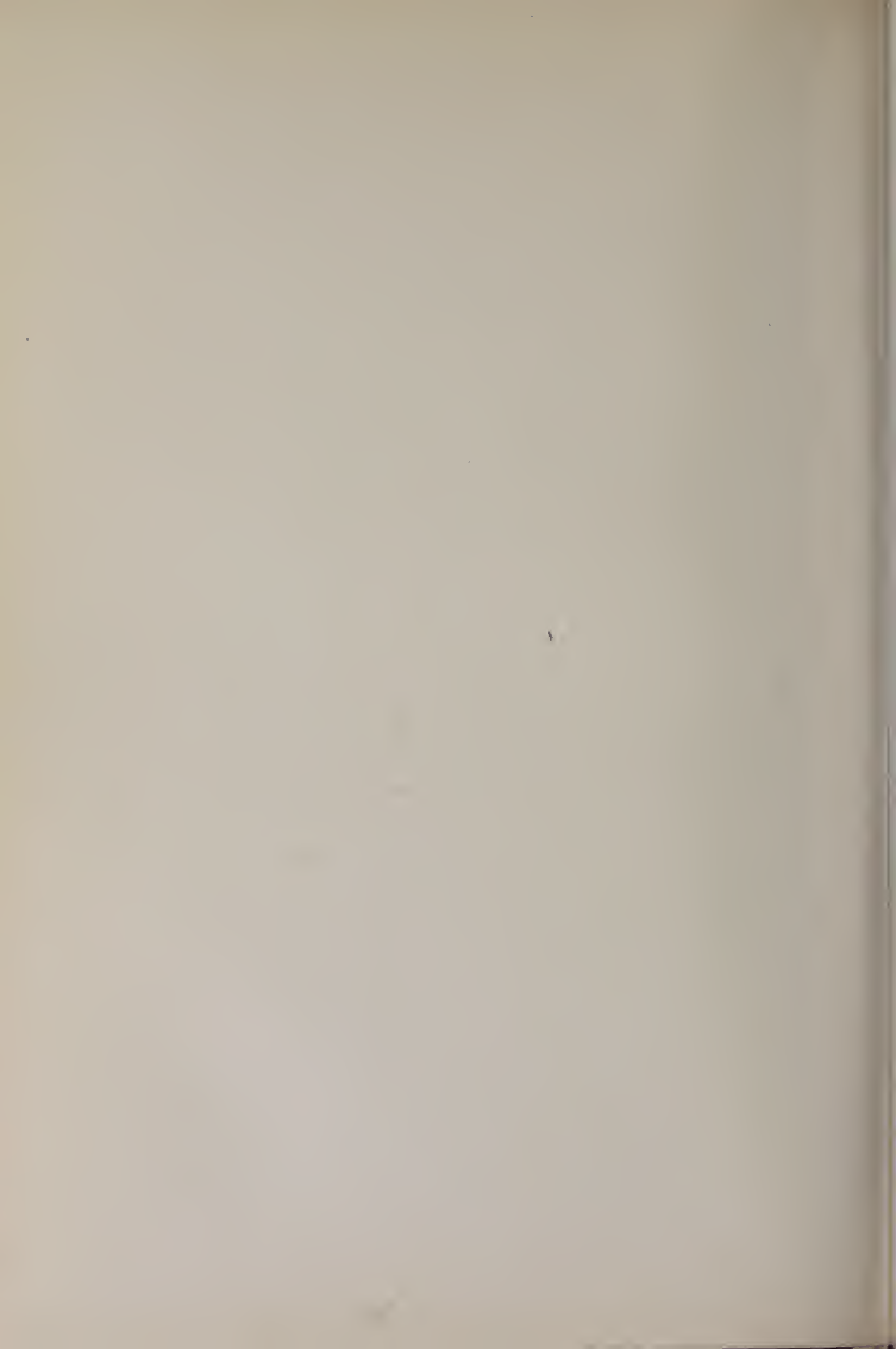
Welche geringe Stärken durch Verwendung eines noch festeren Materials zu ermöglichen sind, das zeigen die Granitsäulen der Briefkapelle in Lübeck, des Artushofes in Danzig und die Kalksteinsäulen des Refektoriums von St. Martin des près zu Paris. So zeigen die alten Werke in allen ihren Teilen die genaueste Berücksichtigung aller Verhältnisse der Statik und der Festigkeit des Materials. Es würde einem Baumeister jener Zeiten kindisch vorgekommen sein, einen Pfeiler stärker zu machen, als er zu sein brauchte. Bei vielen neueren Werken hat man sich durch das Gefühl der freien Kunst über dergleichen Rücksichten emporheben lassen, zuweilen selbst durch Anwendung übermässiger Pfeilerstärken einen gewissen Eindruck von Ernst, Festigkeit und Würde hervorzubringen beabsichtigt. Jedenfalls ist der Weg ein kostspieliger und die Wirkung von der beabsichtigten vielfach abweichend.

Mit den oben gefundenen Massen stimmen nahezu die der Kirche in Bornhofen (s. Fig. 756), wo die Stärke der Pfeiler 50 cm bei 5,71 m Schiffsweite misst. Dabei sind die Entfernungen der Pfeiler allerdings geringer als die Schiffsweite, dafür aber die Pfeiler noch durch den Dachstuhl belastet. In Namedy dagegen beträgt die Schiffsweite 3,53 m, der Abstand der Pfeiler von einander im Lichten 4,42 m und die Pfeilerstärke 35 cm.

Bei sehr schlanken Verhältnissen kann es sich empfehlen, durch Übermauern der Gurtbogen eine Querversteifung der Aussenwände vorzunehmen (vgl. darüber die Ausführungen auf S. 171—175). Eine gleiche Versteifung kann in der Längsrichtung über den die Schiffe trennenden Scheidebogen fortgeführt werden.

Übermauerung der Gurt- und Scheidebogen. Solche Übermauerungen kommen besonders dann in Frage, wenn die Dachkonstruktion zum Teil auf den Mittelpfeilern ruhen soll. Ist die Pfeilerweite nicht grösser als die Abstände der Hauptdachbinder, so werden die Mittelsäulen des Daches genau auf die Pfeilermitten gestützt, die so hoch zu übermauern sind, dass die Gurte und nötigenfalls auch die Scheidebogen eine genügende Steifigkeit bekommen. Dabei ist zu beachten, dass Übermauerungen, die nicht bis zum Scheitel reichen, über „steilen" Spitzbogen unbedingt in schräger Richtung nach





dem Scheitel ansteigen müssen, damit letzterer nicht in die Höhe gedrängt wird. Nötigenfalls sind die Scheitel schlanker Spitzbogen besonders zu belasten.

Wenn bei weiten Pfeilerstellungen die Binderweite zu gross würde, so wird mitten zwischen je zwei Pfeilern noch ein Binder eingeschaltet, dessen Stützen gerade auf dem Scheitel des Scheidebogens stehen müssen und keinenfalls die Schenkel des Bogens unsymmetrisch belasten dürfen. In diesem Falle muss natürlich die Mauer auf dem Scheidebogen bis über die Scheitel fortgeführt werden; damit sie nicht zu schwer wird, macht man sie höchstens $1^1/_2$ oder 2 Stein dick und kann selbst an geeigneten Stellen Durchbrechungen in ihr aussparen.

Die Mittelstützen des Daches können einen Teil des Windschubes übertragen, dem man durch Verstärkung der Mittelpfeiler, durch Anwendung fest aufgelagerter Balken oder durch Verstrebung der Aussenwände mittelst steif übermauerter Gurte (vgl. S. 171) zu begegnen hat. Dass die Übermauerungen die Belastung der Mittelpfeiler und den Schub auf die Aussenwände vergrössern, ist gebührend in Rücksicht zu ziehen.

Anschluss des Chores an die beiden Schiffe.

Wenn der Chor nur dem einen breiteren Schiffe vorgelegt ist (Fig. 756), oder wenn jedes der beiden Schiffe einen besonderen Chor hat, so schliesst er sich dem Schiff ähnlich an wie bei der einschiffigen oder dreischiffigen Kirche.

Die grösste Schwierigkeit erwächst dagegen für zweischiffige Anlagen aus der zu erstrebenden organischen Verbindung zwischen einem in der Mittelachse liegenden Chor und den Schiffen. Die Zweiteilung bis in den Triumphbogen mit Hülfe einer diesen teilenden Mittelstütze fortzusetzen, bot für die meisten Fälle eine zu wenig befriedigende Lösung. Sie findet sich an der kleinen zu Uezküll an der Düna um 1200 erbauten Kirche (der ältesten der baltischen Provinzen, vgl. Fig. 757) und organischer durchgebildet an der Kirche zu Stollberg.

Soll diese Teilung des Triumphbogens vermieden werden, so handelt es sich darum, die in der Längenrichtung sich bewegenden Gurtrippen von dem letzten Pfeiler ab in derartige Richtungen hinüberzuleiten, dass sie an dem Triumphbogen selbst oder an den Seitenpfeilern desselben ein Widerlager finden. Es kann dieser Zweck auf verschiedenen Wegen erreicht werden, die Wahl derselben bestimmt sich aus den Grundrissverhältnissen. Einige seien hier erläutert.

Dreieckiges Feld vor dem Triumphbogen.

1. Die klarste Lösung zeigt die Kirche zu Bornhofen (s. Fig. 758). Hier ist der Scheidebogen vor dem östlichen Pfeiler in die beiden Bogen *ab* und *ac* aufgelöst. Es bilden sich somit vor dem Triumphbogen drei Jochfelder, ein dreieckiges und zwei trapezförmige. Die hierdurch erzeugte Mannigfaltigkeit hinsichtlich der Gewölbejoche kann selbst auf eine von den übrigen abweichende Gestalt des östlichen Pfeilers führen.

Es vergrössert sich nämlich sowohl die Zahl der auf diesen Pfeiler treffenden Rippen, wie das Mass des denselben belastenden Gewölbeteiles, welches in Fig. 758 durch die Figur *defgh* umschrieben ist. Diese Vermehrung der Last nebst der grösseren Zahl der Rippen und der verschiedenen Richtungen derselben kann auf eine Verstärkung der Pfeiler, z. B. die Anfügung eines Dienstes an der Ostseite führen.

Ebenso würde in den Punkten *b* und *c*, auf welche mindestens ein Scheidebogen und zwei

Kreuzrippen treffen, entweder ein an den Pfeiler des Triumphbogens sich anschliessender Dienst angebracht werden, oder aber dieser Pfeiler selbst eine zur Aufnahme dieser verschiedenen Bogen geeignete Gestaltung erhalten können.

Da die Anlage des Gewölbes an dieser Stelle der in Fig. 749 gezeigten entspricht, so ist ein verstärkter Triumphbogen nicht geradezu nötig, er wird daher in Bornhofen durch eine Gurtrippe ersetzt.

Die Rippen schneiden gegen den Triumphbogen.

2. Es seien in Fig. 759 die Joche quadratisch und die Schiffsweite sei der Chorweite gleich, so kann die Rippe *ab* von ihrem Scheitel *b* aus in zwei nach den Pfeilern des Triumphbogens herabgeführte Rippen *bc* und *bd* geteilt werden. Die Kreuzrippe *ef* würde von *f* bis zu dem Zusammentreffen mit der Rippe *bc* in *g* unverändert bleiben, von *g* aber nach dem Scheitel *e* des Triumphbogens in einem der Hälfte *gi* gleichen Bogen steigen müssen, so dass das Rippensystem etwa die in Fig. 759a in der perspektivischen Ansicht gezeigte Gestaltung annehmen würde. Dabei macht das einseitige Andringen der Rippen *ge* und *ke* an den Triumphbogen eine Verstärkung desselben nötig. Die Rippe *bc* muss eine kräftige Krümmung haben, da sie in *g* durch die Rippen *gi* und *ge* belastet wird.

3. Dem eben gezeigten verwandt ist der Grundriss der Kirche zu Namedy, Fig. 760. Abweichungen ergeben sich aber durch das Verhältnis der Chorweite zur Schiffsweite und bestehen darin, dass die Rippen *bc* und *bd*, in welche der Scheidebogen *ab* sich verzweigt, sich nicht an die Pfeiler des Triumphbogens, sondern an die Seite desselben anschliessen, wie der Durchschnitt Fig. 760a zeigt, so dass über *ce* und *df* die Schildbogen eine von dem Punkt *f* nach *d* sich hebende Bogenlinie annehmen, die sich gewissermassen durch das Anschneiden der Busenlinie der Kappen an die Wandfläche ergiebt, der ganzen Anordnung aber fast das Gepräge eines Auskunftsmittels giebt.

Von grösstem Einfluss sind diese verschiedenen Grundrissbildungen auf den Aufriss. Während nämlich in Fig. 759 die gleiche Spannung der Bogen in Chor und Schiff denselben die gleiche Höhe vorschreibt, so bewirkt die ungleiche Spannung in Namedy eine grössere Höhe der Bogen im Chor, mithin bei gleicher Lage der Scheitel eine tiefere der Grundlinie (s. Fig. 760a). Nach der Anlage von Bornhofen dagegen führt die Kontinuität des Gewölbesystemes auf eine gleichhohe Grundlinie im Chor und Schiff, mithin entweder auf eine gedrücktere Gestalt der Bogen im Chor, wie in Fig. 758a, oder auf eine grössere Höhe der Scheitel in demselben.

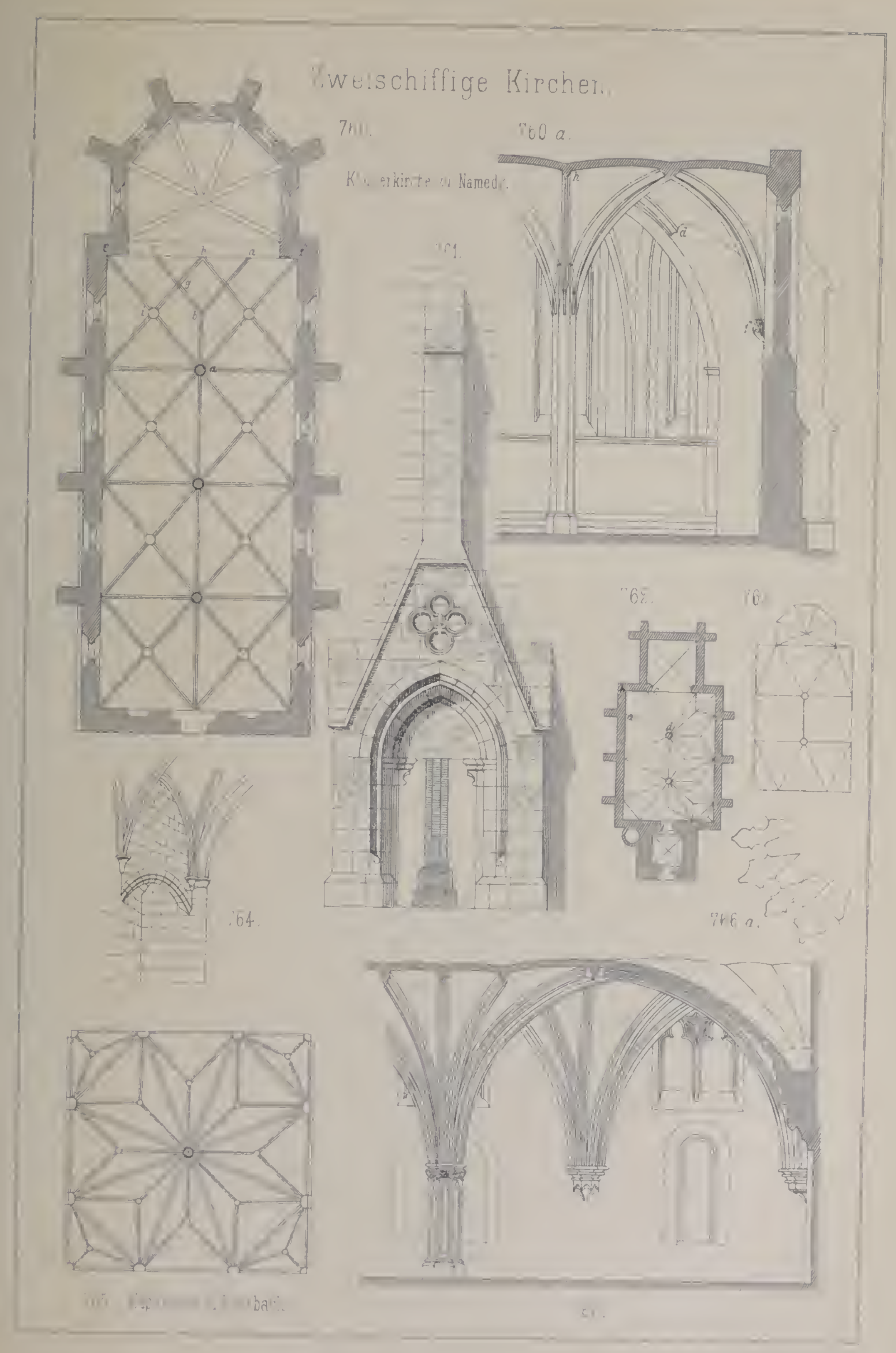
Anschluss der Westwand an die Schiffe.

Anschluss an die Westwand.

Nach Westen setzt sich der Scheidebogen einfachsten Falles an die Giebelmauer, und zwar entweder wie in Fig. 758 und 760 auf eine oberhalb der Mittelthüre befindliche Auskragung oder auf einen von Grund auf angelegten Dienst. Letzterer würde auf zwei Thüren führen, welche entweder auf die Mitten der Schiffe gerichtet oder näher an den Mittelpfeiler gerückt werden können, während erstere entweder eine durchgehende Verstärkung der westlichen Mauer mit Rücksicht auf den Schub des Scheidebogens oder einen auf dem Thürbogen aufgesetzten Strebepfeiler, mithin einen entsprechenden Vorsprung der Thürgewände vor der Giebelmauerflucht fordert, wie etwa Fig. 761 zeigt.

Weiter könnte aber auch an der Westmauer sich in derselben Weise wie an

Tafel LXVI.





der Chorseite ein dreiseitiges Gewölbejoch anschliessen und diese Anlage sich mit einem Westturme in passender Weise verbinden. Dasselbe System führt sodann in seiner Anwendung auf die Langseiten zu der Auflösung der ganzen Grundfläche in dreieckige Gewölbefelder (s. Fig. 762).

Dreiseitige Wölbfelder.

Die Gewölbe in den an den Ecken übrigbleibenden Räumen *abcd* usw. lassen dabei die verschiedenartigsten Anordnungen zu, von welchen die zunächstliegende darin bestehen würde, dass an die Seiten *ab* und *bc* das Gewölbe sich mit zwei halben Schildbogen anschlösse, oder aber, dass das Dreieck *abc* durch die Rippe *ac* von dem Dreieck *acd* getrennt würde und jedes dieser Dreiecke sein besonderes Rippensystem erhielte.

Ebenso würde, wie Fig. 764 zeigt, von *a* nach *c* statt einer Rippe sich ein Gurtbogen unterhalb des Rippenanfanges spannen können, auf welchen dann eine in derselben Richtung stehende Mauer sich setzt, so dass im Äusseren aus der rechten Ecke *b* ein Übergang in die schräggestellte Seite *ac* sich bildete. In allen diesen Fällen würde der Strebepfeiler in *b* entbehrt werden können. Es würde derselbe jedoch wieder nötig, sobald das Joch *abcd* als Viereck überwölbt und von *d* nach *b* eine Kreuzrippe gespannt werden sollte.

Weitere Verschiedenheiten würden sich ergeben je nach dem für jedes Dreieck angenommenen Rippensystem (s. S. 29), oder durch Verwendung eines Netzgewölbes.

So liessen sich ferner die dreieckigen Joche auch auf die östlichen und westlichen Felder beschränken und im übrigen mit viereckigen Jochen verbinden (s. Fig. 763).

Hallen weltlicher Bauten.

Hallen weltlicher Bauten.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die gezeigten Anordnungen sich in völlig gleicher Weise auch auf die verschiedenartigen weltlichen Zwecken dienenden Hallen anwenden lassen, ja dass bei richtigem Verhältnis für die mannigfaltigen Bedürfnisse, denen hier entsprochen werden muss, sich noch vielgestaltigere Bildungen ergeben müssen. Prächtige Beispiele dieser Art finden sich noch an vielen Orten. Hierher gehört der grosse Remter des Schlosses zu Marienburg, die Halle des Artushofes zu Danzig, die Neuschule in Prag, eine grosse Zahl der verschiedensten Klosterräume in Haina, Eberbach, Maulbronn, das Refektorium von St. Martin des prés zu Paris, sowie die in Frankreich noch mehrfach vorhandenen Hospitäler, von denen das mehrerwähnte VERDIER'sche Werk zahlreiche Beispiele bringt. Nicht alle die erwähnten Räume sind zweischiffig, aber die in dem Vorhergehenden dargethanen konstruktiven Vorteile beruhen auch nur auf der gleichen Spannung der verschiedenen Schiffe, so dass auch dreischiffige Hallenkirchen mit annäherungsweise gleichen Schiffsweiten, wie die Wiesenkirche in Soest, das Schiff des Erfurter Domes, die geringen Pfeilerstärken ermöglichten.

Räume mit einer Mittelsäule.

Bei mässiger Länge der Räume ergiebt sich nur „ein“ Mittelpfeiler, wobei wieder die Gestaltung des Pfeilers, wie des Gewölbesystems einer endlosen Mannigfaltigkeit fähig ist und sich den verschiedenartigsten Raumverhältnissen anpassen lässt, sowohl mit Beibehaltung des einfachen Kreuzgewölbes, wie durch irgend ein reicheres Rippensystem. Es sind in dem eben bei den zweischiffigen Kirchen Gesagten ausreichende Anhaltspunkte gegeben, nach denen auch unregelmässige Räume sich leicht lösen lassen werden.

Als Beispiel einer besonders zierlichen Gestaltung dieser Art geben wir noch in Fig. 765 und 766 Grundriss und Durchschnitt des Kapitelsaales vom Kloster

Eberbach am Rhein, welche die reiche und kühne Wirkung der aus dem Mittelpfeiler sich emporschwingenden 16 Rippen anschaulich machen. Wie die Fig. 766a zeigt, sind die Rippen, welche die dreieckigen Joche einschliessen, stärker und anders profiliert als die teilenden Kreuzrippen.

3. Die Grundrissanlagen der Kirchen mit drei und mehr Schiffen.

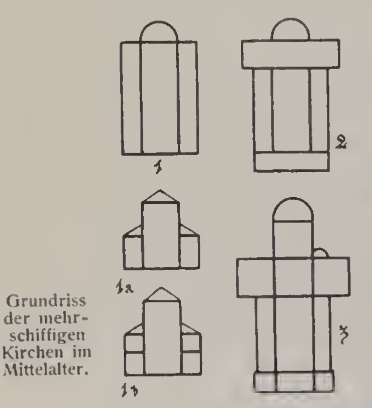
Die allgemeine Grundrissform mehrschiffiger Kirchen.

Altchristliche Basilika.

Den Ausgangspunkt für die drei- und mehrschiffigen Kirchen bildet die altchristliche Basilika, deren inneres Wesen darin besteht, dass sich das Mittelschiff über die Seitenschiffe zum Zwecke der Lichtgewinnung erhebt.

Die altchristliche Basilika zeigt zwei Grundtypen:

1) Die sogenannte ravennatische Basilika, die zwar nicht auf Ravenna beschränkt ist, aber dort häufig vorkommt (S. Apollinare in Classe, S. Apollinare nuovo, S. Agata u. a.), hat im Grundriss drei oder fünf parallele Schiffe ohne Querschiff, jedoch mit einer Apsis und zeigt im Querschnitte entweder eingeschossige oder mit Emporen versehene Seitenschiffe (vgl. nebenstehende Fig. 1, 1a, 1b).



2) Die sogenannte römisch-altchristliche Basilika, bei welcher den drei oder fünf Schiffen ein Querschiff vorgelagert ist, an welchem die Apsis sitzt. Fig. 2.

An der Eingangsseite kann die Basilika mit einer schlichten Giebelwand abschliessen oder durch eine zugefügte Vorhalle und einen Vorhof bereichert sein.

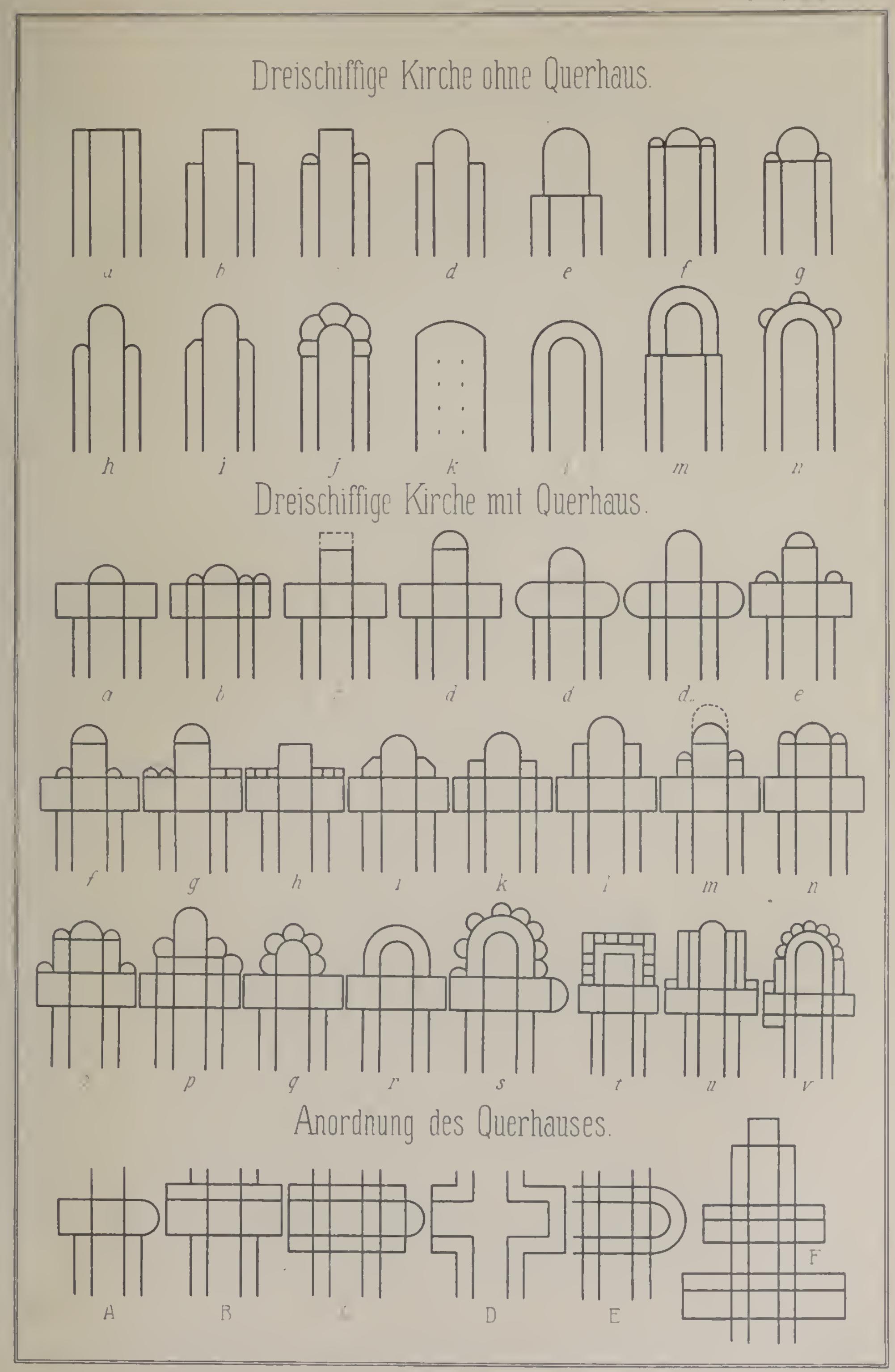
Grundriss der mehrschiffigen Kirchen im Mittelalter.

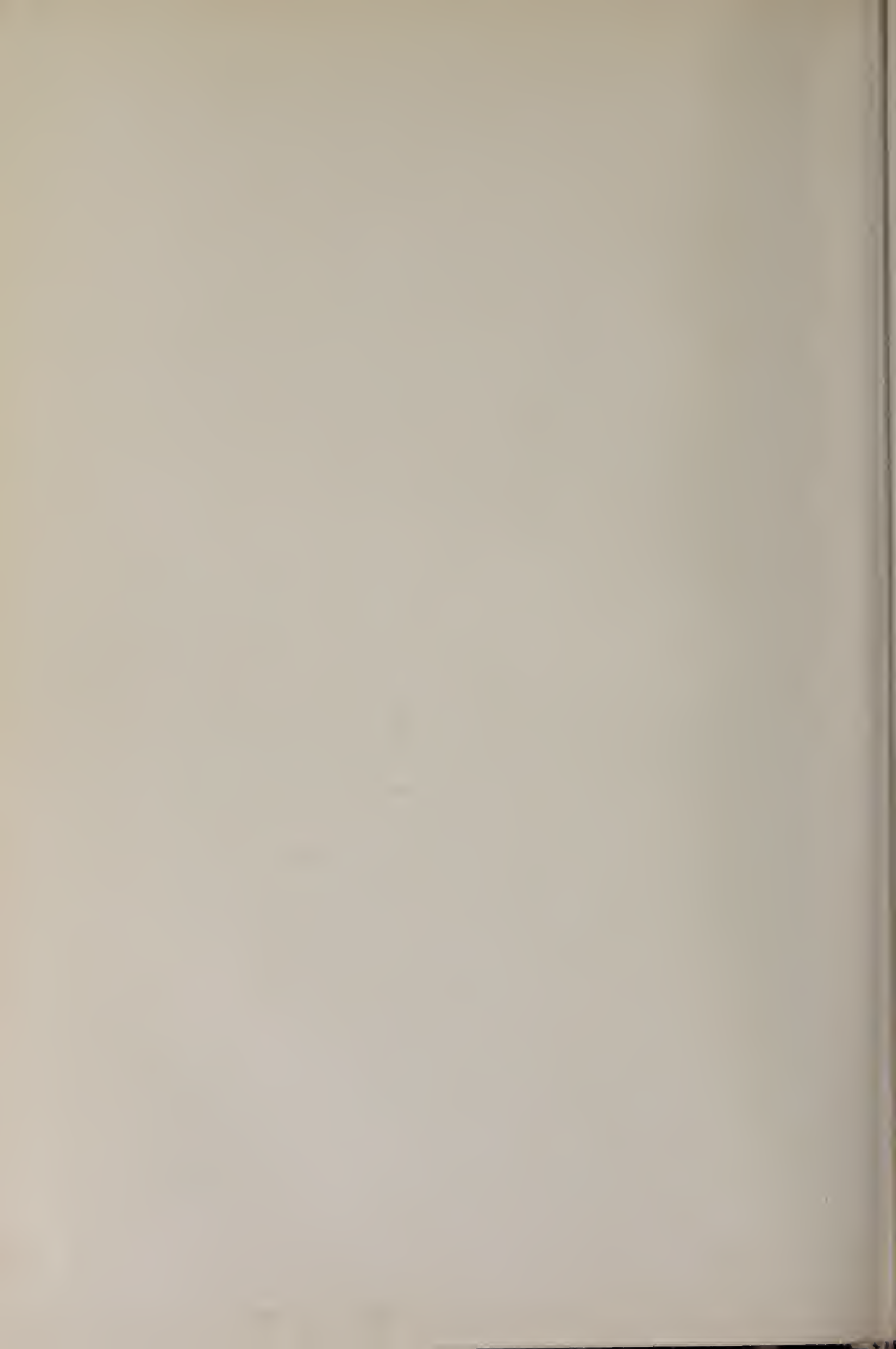
Wollte man den altchristlichen Typen einen romanischen gegenüberstellen, so könnte dieses am besten der in Fig. 3 nebenstehend dargestellte kreuzförmige Grundriss sein. In gesetzmässiger Weise durchdringt sich das aus drei Quadraten bestehende Querschiff mit dem um die Länge eines Quadrates nach Osten verlängerten Mittelschiff, das durch eine Apsis geschlossen wird. Im Westen legt sich vor die drei Schiffe ein Querbau, der gewöhnlich mit Türmen bekrönt ist.

Wenn man annehmen würde, dass man in diesem schön abgewogenen Grundriss eine feststehende Form erblickt hätte, die man als eine Errungenschaft bewahrt und immer wieder verwandt hätte, so würde man im Irrtum sein. Abgesehen von überleitenden Formen, die zwischen den Grundrissen 2 und 3 einzuschalten sind, kommen im ganzen Mittelalter dem Grundriss 1 nahestehende Kirchen ohne Querschiff vor. Dann zeigt sich eine noch weitere Entwicklung der Chorpartie durch Verlängerung der Seitenschiffe über das Querschiff hinaus, Umschwingen des Seitenschiffes um die Apsis, Zufügen von Nebenapsiden, Kapellenkränzen, zwei weiteren Seitenschiffen usf. Nimmt man die Mannigfaltigkeit in den Schiffweiten, den Jochteilungen, den Höhenentfaltungen, Deckenbildungen, Turmlösungen und kleineren Anbauten hinzu, dann darf es nicht wundernehmen, dass unter den Tausenden mittelalterlicher Kirchen kaum zwei sich auch nur annähernd

Tafel LXVI a.

s S 28[illegible]. 281





gleichen. Es wurde eben von Fall zu Fall aus den jeweiligen Verhältnissen heraus geschaffen, man könnte fast behaupten, es ist alles versucht, was möglich war, ohne unschön und unzweckmässig zu sein.

Da ein Überblick über die verschiedenen Grundrissbildungen nicht ohne Wert ist, so sind die hauptsächlichsten unter Fortlassung allen Beiwerkes auf Tafel LXVIa zusammengestellt. Die Jochteilung ist fortgelassen, die polygonalen Chorschlüsse sind schematisch durch Kreisstücke bezeichnet.

Kirchen ohne Querschiff.

Die dreischiffigen Kirchen ohne teilendes Querschiff bieten, ganz abgesehen von der Westanlage und den etwa im Osten zugefügten Türmen, eine ganze Reihe von Abwandlungen, deren wichtigste in den Figuren *a* bis *n* auf Taf. LXVIa dargestellt sind.

a) Geradliniger Abschluss der drei Schiffe im Osten, Beispiele: Allenstein in Preussen. Nordhampton. *b*) Das geradlinig abgeschlossene Mittelschiff springt östlich gegen die geradlinig abgeschlossenen Seitenschiffe vor, Beispiel: Boke in Westfalen. *c*) Das geradlinig abgeschlossene Mittelschiff springt gegen die mit Apsiden geschlossenen Seitenschiffe vor, Beispiele: Billerberk, Legden. *d*) Das Mittelschiff mit Apsis springt gegen die gerade geschlossenen Seitenschiffe vor, Beispiele: Frauenkirche in Nürnberg und viele Kirchen der Minoriten, Barfüsser und anderer Orden zu Köln, Bonn, Esslingen usw. *e*) Dasselbe mit verbreitertem Chor, Beispiel: Hirzenhain. *f*) Drei gleich lange Schiffe mit je einer Apsis, Beispiele: Reichenhall, Gransee, Prenzlau, Prag. *g*) Dasselbe mit erweitertem Mittelchor, Beispiel: Wiesenkirche in Soest. *h*) Abschluss der Kirche durch drei Apsiden, von denen die mittlere vorspringt, Beispiele: Regensburg, Esslingen (Dominikanerkirche), Methler, Soest, Steyer. *i*) Schräg gerichtete Seitenapsiden an den Seitenschiffen, Beispiel: Lüdinghausen. *j*) Kapellenkranz. *k*) Die drei Schiffe sind zu einem Polygonabschluss zusammengefasst, Beispiele: Zwickau, Schneeberg. *l*) Das Seitenschiff ist um den Chor herumgeschwungen, Beispiele: Ingolstadt, Dinkelsbühl. *m*) Dasselbe, jedoch unter Absetzen des Chorbaues gegen den Schiffbau, Beispiel: Guben. *n*) Umgeschwungenes Seitenschiff mit einzelnen Kapellenanbauten.

Kirchen mit Querschiff.

Die Grundrissbildungen mit Querschiff sind naturgemäss noch zahlreicher. Die hauptsächlichsten sind unter den Zahlen *a* bis *v* auf der Taf. LXVIa wiedergegeben.

a) Apsis am Querschiff, Beipiel: Friedberg in Hessen. *b*) Mehrere Apsiden am Querschiff, Beispiele: Senanque, Silvacanne. *c*) Geradlinig geschlossenes verlängertes Mittelschiff, Beispiele: Enkenach, Kulmsee. *d*) Verlängertes Mittelschiff mit Apsis, Beispiele: Gebweiler, Wetter. *d, und d,,)* Derselbe mit Apsiden im Norden und Süden vor den Kreuzflügeln, Beispiele: Köln, Neuss, Marburg, Bonn. *e*) Verlängertes Mittelschiff mit Apsis und Seitenapsiden vor der Mitte der Ostseiten der Kreuzflügel, Beispiele: Laach, Braunschweig, Diesdorf. *f*) Dasselbe, jedoch die Seitenapsiden in den Achsen der Seitenschiffe, Beispiele: Trient, Dijon. *g*) Verlängertes Mittelschiff mit Apsis und mehrere Seitenapsiden vor dem Querschiff, Beispiel: Bronnbach. *h*) Geradlinig geschlossenes verlängertes Mittelschiff und eine Reihe von Kapellen vor den Kreuzflügeln, Beispiele: Loccum, Eberbach und andere Klosterkirchen. *i*) Verlängertes Mittelschiff mit schräggerichteten Seitenkapellen, Beispiele: Weidhofen, Oppenheim. *k*) Quadratische Seitenschifffelder, östlich vom Chor, Beispiel: Toul. *l*) Stark über die Vierung verlängerte, geradlinig abgeschlossene Seitenschiffe, Beispiel: Lyon. *m*) Neben stark verlängertem Mittelschiff weniger verlängerte Seitenschiffe mit Apsiden, Beispiele: Schlettstadt, Naumburg. *n*) Gleich weit verlängerte Schiffe mit je einer Apside, Beispiele: Inichen, Ellwangen. *o*) Das vorige mit weiteren Nebenapsiden oder Nebenschiffen vor den Kreuzflügeln, Beispiel: Ancy-le-Duc. *p*) Schräg gerichtete Kapellen in den Winkeln zwischen verlängertem Mittelschiff und Seitenschiff sowie Seitenschiff und Kreuzflügel, Beispiele: St. Yved in Braisne und Liebfrauenkirche in Trier. *q*) Verlängertes Mittelschiff mit Kapellenkranz, Beispiele: Lüneburg, Lübeck, Rostock. *r*) Chor mit umgeschwungenem Seitenschiff, Beispiele: Auxerre, Mastricht, Osnabrück. *s*) Umgeschwungenes Seitenschiff und Einzelkapellen bezw. Kapellenkranz, Beispiele: Reims, Freiburg, Prag. *t*) Viereckig umgebogenes Seitenschiff mit Kapellen, Beispiel: Riddagshausen.

u) Fünfschiffiger Chor mit gerade geschlossenen verlängerten Seitenschiffen, Beispiel: Walkenried.
v) Fünfschiffiger Chor mit umgeschwungenen Seitenschiffen und Kapellenkranz, Beispiel: Altenberg.

Grundriss der Querschiffe.

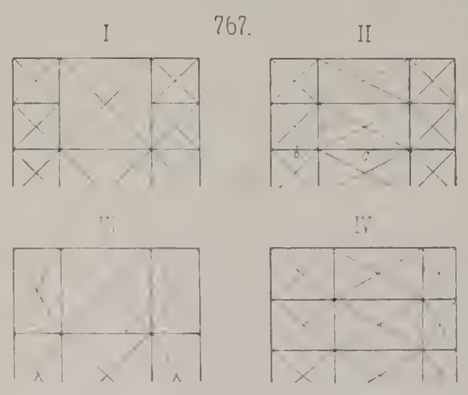
Bei den vorerwähnten Beispielen ist nur ein einschiffiger Querbau vorausgesetzt, dessen Enden im Süden und Norden gerade geschlossen sind. Der Kreuzbau lässt sich schon dadurch bereichern, dass er an den Enden rund oder polygonal geschlossen wird, Beispiel: Marburg, s. Fig. A auf Tafel LXVIa. Ausserdem kann dem Querschiff östlich ein Nebenschiff beigefügt sein, wie an vielen Klosterkirchen und der Kathedrale von Canterbury Fig. B, oder es können östlich und westlich Nebenschiffe hinzutreten, wie an den grossen Kathedralen Köln usw. s. Fig. C. Schliesslich können auch die Nebenschiffe an den Kreuzflügeln herumgeschwungen sein, geradlinig wie in Winchester Fig. D und rund wie bei St. Maria im Kapitol zu Köln. Fig. D und E. An einigen englischen Kirchen, z. B. Salisbury, finden sich sogar zwei Querhäuser. Fig. F. Wenn diese bereicherten Querschiffe mit den unter *a* bis *u* angegebenen Chorbildungen vereinigt werden, so entstehen wieder sehr viele Abwandlungen, für die zum grossen Teil ausgeführte Beispiele anzutreffen sind.

Den grössten Reichtum im Grundriss bildet im allgemeinen ein fünfschiffiges Langhaus mit Kapellenkranz und dreischiffigem Querhaus wie beim Kölner Dome, jedoch wird auch das noch vereinzelt übertroffen, so hat die Kathedrale in Antwerpen sieben Schiffe.

Einteilung der Schiffe in Gewölbejoche.

Quadratische Joche.

Wie schon Seite 9 dargethan, führte in romanischer Zeit die Schwierigkeit, gestreckte Felder zu überwölben, dazu, dass man eine gleiche Jochteilung in den Schiffen nach Art der Fig. 767 II ungern zur Ausführung brachte, vielmehr statt

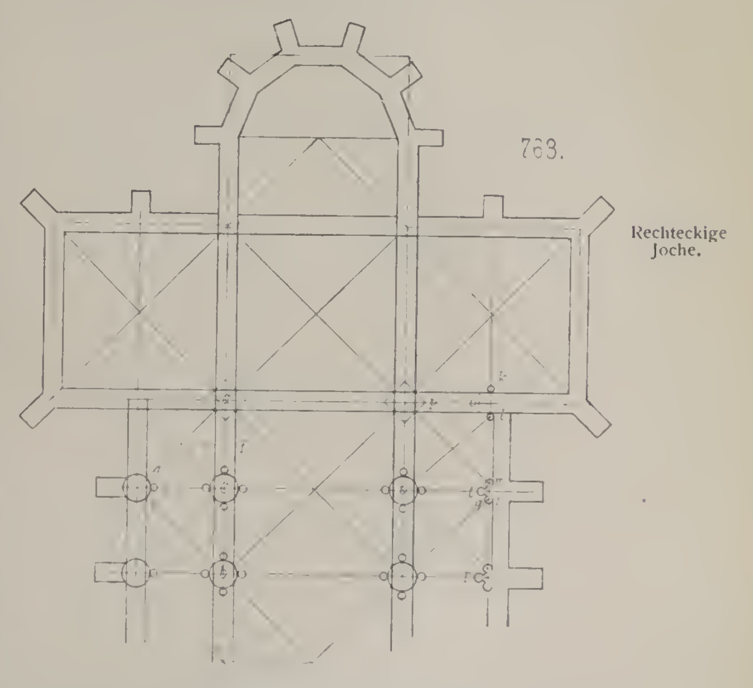


dessen auf jedes quadratische Mittelfeld zwei halb so grosse quadratische Seitenfelder nach Art der Fig. 767 I kommen liess. Als die Überwölbung der Rechtecke kein Hemmnis mehr bot, trat überall die gleichmässige Feldteilung in den Vordergrund, wenngleich auch die eines besonderen Reizes nicht entbehrende quadratische Teilung mit Zwischenpfeilern in manchen frühgotischen Werken beibehalten wurde; das Verhältnis der Mittelschiffweite zu derjenigen des Seitenschiffes ergiebt sich dabei wie 2 : 1, jedoch bilden sich nach Stellung der Pfeiler und Wandfluchten kleine Abweichungen, wie an der Fig. 768 gezeigt werden möge.

In der linken Hälfte von Fig. 768 sind die Durchschnittspunkte der verschiedenen Achsen als Mittelpunkte der freistehenden Pfeiler und Wandpfeiler angenommen, so dass die Stärke der Scheidebogen *ef* auch die der Fensterwand abgiebt, während der innerhalb der Fensterwand stehenbleibende Teil des Pfeilerkörpers *ghi* die Dienste bildet.

In der rechten Hälfte derselben Figur dagegen ist in k der Dienst der Halbierungsrippe angetragen und die Richtung derselben als Achse der Kreuzrippendienste mn im Seitenschiff angenommen, wobei die Wand weiter nach aussen rückt. In o ist dann ein stärkerer Dienst für den Scheidebogen op, und in t, r usf. je ein schwächerer für die Gurtrippen gesetzt. Auf diese Art wird die Weite der Seitenschiffe im Lichten der Dienste grösser als auf der linken Seite. Noch mehr würde dieselbe vergrössert, wenn in den Durchschnittspunkten der Achse km einzelne stärkere Dienste aufgestellt worden wären. Hieraus folgt, dass die quadratische Teilung der ganzen Konstruktion zu Grunde liegen kann, ohne unmittelbar greifbar zu sein.

Überhaupt ist die Grundlage eines geometrischen Systemes, wie in Fig. 768 das der aneinandergereiheten Quadrate, nicht zu abstrakt zu nehmen. So würde sich die nächste Abweichung davon in derselben Figur ergeben durch die Verstärkung der Kreuzpfeiler und der das Mittelquadrat einschliessenden Scheidebogen.



Rechteckige Joche.

Als man unter Anwendung oblonger Felder in den Schiffen die gleiche Jochteilung durchlaufen liess, konnte man das Verhältnis der drei Längen Pfeilerabstand, Seitenschiff- und Mittelschiffsweite ($a : b : c$ in Fig. 767 II) in mannigfaltiger Weise verändern, wobei sich entweder im Mittelschiff oder im Seitenschiff oder in beiden rechteckige Felder ergaben (vgl. Fig. 767 II, III, IV).

Bei einigen frühen Werken findet sich das aus der Quadratteilung herrührende Verhältnis 1:1:2 noch ausgesprochen. Mit beinahe völliger Genauigkeit trifft dasselbe zu in der Elisabethkirche zu Marburg. In der Kirche zu Haina ist das Verhältnis der Pfeilerweiten zu der des Seitenschiffes von der Pfeilerachse bis zur „Mauerflucht" gemessen 1:1, während das Mittelschiff von Mitte zu Mitte das doppelte Mass (c bis u in Fig. 768) zeigt. In der Kirche zu Frankenberg ist das Verhältnis der drei Masse 15:16:29; in der zu Wetter 1:1:2 von den Pfeilermitten zur Mauerflucht, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Mauer bei der Anlage innerer Strebepfeiler weiter nach aussen gerückt ist. In St. Laurentius zu Ahrweiler ist das Verhältnis der Pfeilerweite von Mitte zu Mitte zu der Weite bis zur äusseren Mauerflucht 1:1 und die Schiffsweite von Achse zu Achse bestimmt sich durch die Diagonale des damit beschriebenen Quadrats. In der Kirche zu Friedberg ist das Verhältnis der Pfeilerweite zu der der Seitenschiffe bis zur Mitte der Mauerdicke gemessen 1:1, und die Diagonale aus dieser Weite reicht, wenn wir uns auf Fig. 768 beziehen, von c bis u.

Im Münster zu Freiburg reicht die Diagonale aus der Pfeilerweite etwa bis zur Mitte der Mauerdicke und die Diagonale eines der Joche der Seitenschiffe von der Pfeilermitte an ge-

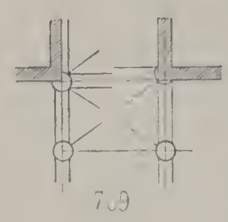
messen giebt die Schiffsweite. Ein ähnliches Verhältnis enthält auch der Dom zu Regensburg. In der Kathedrale von Rouen verhalten sich die drei Weiten nahezu wie 5:5:11.

An allen den erwähnten Werken sehen wir die verschiedenartigsten Beziehungen der drei Masse verwandt, dabei aber ein mehr oder weniger entschiedenes Vorherrschen der Mittelschiffsweite, welche in Rouen mehr als die doppelte der Seitenschiffe ist, während in anderen mehr eine Ausgleichung der drei Masse hervortritt.

In der Kreuzkirche zu Breslau, der Wiesenkirche zu Soest, der Kirche zu Volkmarsen, der Kirche zu Immenhausen verhält sich die Pfeilerweite zur Mittelschiffsweite nahezu wie 1:1, es entstehen also quadratische Joche, während die Seitenschiffsweiten sich von der Hälfte dieser Länge bis zur Diagonale der Hälfte steigern. In dem Chor der Sebalduskirche zu Nürnberg nähern sich alle drei Grössen einander, während im Schiff des Domes zu Erfurt die Seitenschiffsweite überwiegt, welcher sich dann die Pfeilerweite und die Mittelschiffsweite absteigend nähern. Es finden demnach eben alle irgend möglichen Weitenverhältnisse statt. Die Wahl derselben hängt ab von räumlichen Forderungen wie dem angenommenen System der Konstruktion und hilft den Charakter des Werkes bestimmen.

Chor und Mittelschiff.

Die Anlage des Chores beeinflusst das Ganze bei den einfachsten wie bei den zusammengesetzteren Anlagen. Meist gleicht der Chorweite die des Mittelschiffes. Indes kann schon diese Gleichheit verschieden aufgefasst werden, je nachdem die innere Mauerflucht des Chores die Achse der Schiffspfeiler angiebt, wie die linke Hälfte in Fig. 769, oder aber die Scheidebogen die direkte Fortsetzung der Mauerdicke bilden, wie die andere Hälfte derselben Figur zeigt. Letztere Anordnung wird notwendig bei einem überhöhten Mittelschiffe.


769

Entschiedene Abweichungen der Chorweite von der des Mittelschiffes finden sich nur durch besondere Verhältnisse herbeigeführt, wie etwa in Erfurt, wo das Schiff den älteren, den Chorbau nach Westen abschliessenden Türmen angesetzt ist, so dass die zwischen denselben verbleibende Weite, welche etwa der Hälfte der Chorweite entspricht, das Mass für das Mittelschiff abgiebt. Hierdurch findet auch, nebenbei bemerkt, die eigentümliche Anlage der breiteren Seitenschiffe ihre Erklärung.

Kreuzschiff.

Die Weite der Kreuzflügel ist nach dem zunächstliegenden Schema der Mittelschiffsweite gleich, indessen finden sich auch hiervon zahlreiche Ausnahmen. So wird ihre Weite in Erfurt durch die Seitenschiffsweite bestimmt. Im Dom zu Regensburg bleibt dieselbe etwa um die halbe Pfeilerstärke unter der des Mittelschiffes. So ist in der Kathedrale von Reims die Weite der drei Schiffe der Kreuzflügel zwar der des dreischiffigen Langhauses gleich, im Kreuzschiffe sind aber die Seitenschiffe breiter, mithin das Mittelschiff schmäler als im Langhaus. Umgekehrt sind in Chartres die Seitenschiffe der Kreuzflügel schmäler als die des Langhauses. Solche Abweichungen von der normalen Anlage finden teils in örtlichen Verhältnissen, teils in dem System des ganzen Grundrisses ihre Erklärung. Sie werden in den erwähnten Werken bedingt durch andere Masse, so giebt z. B. in Chartres die Seitenschiffsweite des Langhauses die Pfeilerweiten im Kreuzflügel. In der Kirche zu Friedberg ist die Weite der Kreuzflügel der Pfeilerweite gleich, so dass sich die Kreuzflügel nur durch die grössere Tiefe ihrer Gewölbejoche aussprechen.

Zahl der Joche.

Die Zahl der Gewölbejoche hängt ab von dem Längenverhältnis der

ganzen Kirche, der Länge, welche der Chor in Anspruch nimmt, und den Verhältnissen, welche die Joche nach dem angenommenen System erhalten sollen.

Im allgemeinen liegt es im Prinzip des gotischen Kirchenbaues, dass die Längenrichtung über die der Breite vorherrschen soll und dass die grössere Länge besser durch eine Vermehrung der Zahl der Joche als eine Vergrösserung derselben hervorgebracht wird.

Pfeilerabstand.

In katholischen Kirchen ist die durch eine engere Stellung der Pfeiler sich bestimmter aussprechende Scheidung der Schiffe den Bedürfnissen des Kultus, dem gleichzeitigen Dienst an verschiedenen Altären, sogar günstig. Minder dürfte solches in protestantischen Kirchen der Fall sein, deren direktes Bedürfnis auf einen dem Chor verbundenen weiten Raum hinweist. Doch sollte man auch hier sich hüten, die Sichtbarkeit des Altars von allen Plätzen so strenge wie die der Bühne im Theater zu beanspruchen. Die Pfeiler sind in jedem weiten, vor allem in jedem grossen gewölbten Raum ein konstruktives Bedürfnis, welchem nur durch die bedeutendsten Opfer in materieller Hinsicht wie durch übermässige Höhen ausgewichen werden kann, soll das Ganze nicht einer rettungslosen Plattheit anheimfallen. Möge man daher immer mit der Anlage einschiffiger Kirchen so weit gehen, als sich dies mit der Vernunft vereinen lässt, oder bei mehrschiffiger Anlage weitere Pfeilerstellungen bevorzugen, die aufgeführten Werke beweisen, dass hier der weiteste Spielraum gegeben ist: in der blossen Gewinnung eines weiten hohlen Raumes aber eine protestantische, der katholischen gegensätzliche Bauform anstreben heisst den Anspruch aufgeben, dass diese Bauform auch eine Kunstform und eine kirchliche sei.

Östlicher Abschluss der Seitenschiffe.

Im Osten werden die Seitenschiffe am einfachsten durch das Kreuzschiff oder, wenn ein solches fehlt, in der Flucht des Triumphbogens durch gerade Mauern bewirkt, welche mit Fenstern durchbrochen sein können.

Vierseitiger Nebenchor.

Sollen Nebenaltäre angebracht werden, so finden dieselben eben an diesen Ostwänden ihre geeignetste Aufstellung, sie würden durch die Altarstufen von dem der Gemeinde zugewiesenen Raum sich scheiden, mithin gewissermassen einen einspringenden Nebenchor bilden. Es liegt demnach nahe, den Abschluss der Seitenschiffe über den Triumphbogen hinaus beispielsweise um ein oder zwei Joche nach Osten zu schieben, also einen vierseitigen Nebenchor anzulegen. welcher vom hohen Chor durch zwischen die Pfeiler *ab* in Fig. 770 sich setzende Mauern geschieden werden kann.

Dieser Abschluss ist entweder vollständig, indem die Mauern bis unter den Gurtbogen *ab* gehen, oder er reicht nur bis auf eine gewisse, etwa der Fenstersohlbank entsprechende Höhe, oberhalb deren die Bogenöffnungen *ab* frei bleiben oder mit Pfosten und Masswerk geteilt sein können. In der Blasienkirche in Mühlhausen, von deren Chor und Kreuzschiffen Fig. 770 den Grundriss darstellt, haben die Mauern *ab* etwa die Höhe von $3\frac{1}{2}$ m. Die Verbindung mit dem hohen Chor wird vollständiger, wenn die Bogenöffnungen bis auf den Boden hinabgehen, wie in St. Stephan in Wien. Um indes eine Scheidung wenigstens

anzudeuten, können wie bei den ersten Jochen des Chores der Kathedrale von Meaux die Pfeiler unterhalb der eigentlichen Scheidebogen durch Gurten verbunden sein, auf welchen sich das die obere Bogenausfüllung bildende Masswerk aufsetzt. Fig. 771 zeigt dieses in perspektivischer Ansicht. Die Grundrissanlage von Fig. 770 würde ebensowohl ohne Kreuzschiff bestehen können, wobei die Joche östlich vom Kreuzschiff nur eine Fortsetzung der Seitenschiffe darstellen würden.

Runder oder polygonaler Nebenchor.

Indes hatte schon die romanische Kunst halbrunde Nebenapsiden angenommen, welche in der gotischen Kunst in die polygonale Grundform übergehen, z. B. nach fünf Seiten des Achtecks gebildet sind.

Zwischen dem östlichen Abschluss des Nebenchores und dem nächsten Chorstrebepfeiler kann ein Zwischenraum sich ergeben, welcher offen bleiben, ausgemauert werden, oder, wenn die Grössenverhältnisse dies gestatten, zur Anlage eines Treppenturmes dienen kann (s. die linke Hälfte von Fig. 772). Man kann auch die Ostwand des Nebenchores bis in die Flucht des Chorstrebepfeilers vorrücken, wie in Fig. 772 rechts und 773. In letzterer haben die in die Längenrichtung fallenden Polygonseiten ein grösseres Mass als die übrigen erhalten.

Es kann das Dreieck *adb* in Fig. 773 auch innen offen bleiben, dabei wird der Gewölbegrundriss vermittelst einer von *a* nach *b* gespannten Rippe polygonal oder als ein durch die Achtecksseite *ef* abgestumpftes Viereck gebildet. Letztere Anordnung erschwert jedoch die Anlage eines östlichen Fensters, dessen Bogen entweder gegen den Schildbogen exzentrisch werden oder die volle Weite *fd* einnehmen muss. Über die Durchbrechung der die Chöre scheidenden Wand *hd* gilt das schon oben Gesagte, nur würden die betreffenden Bogen entweder auf die Weite *bh* zu beschränken oder so niedrig zu spannen sein, dass die Rippe *ab* darüber ansetzen könnte, siehe Fig. 773a.

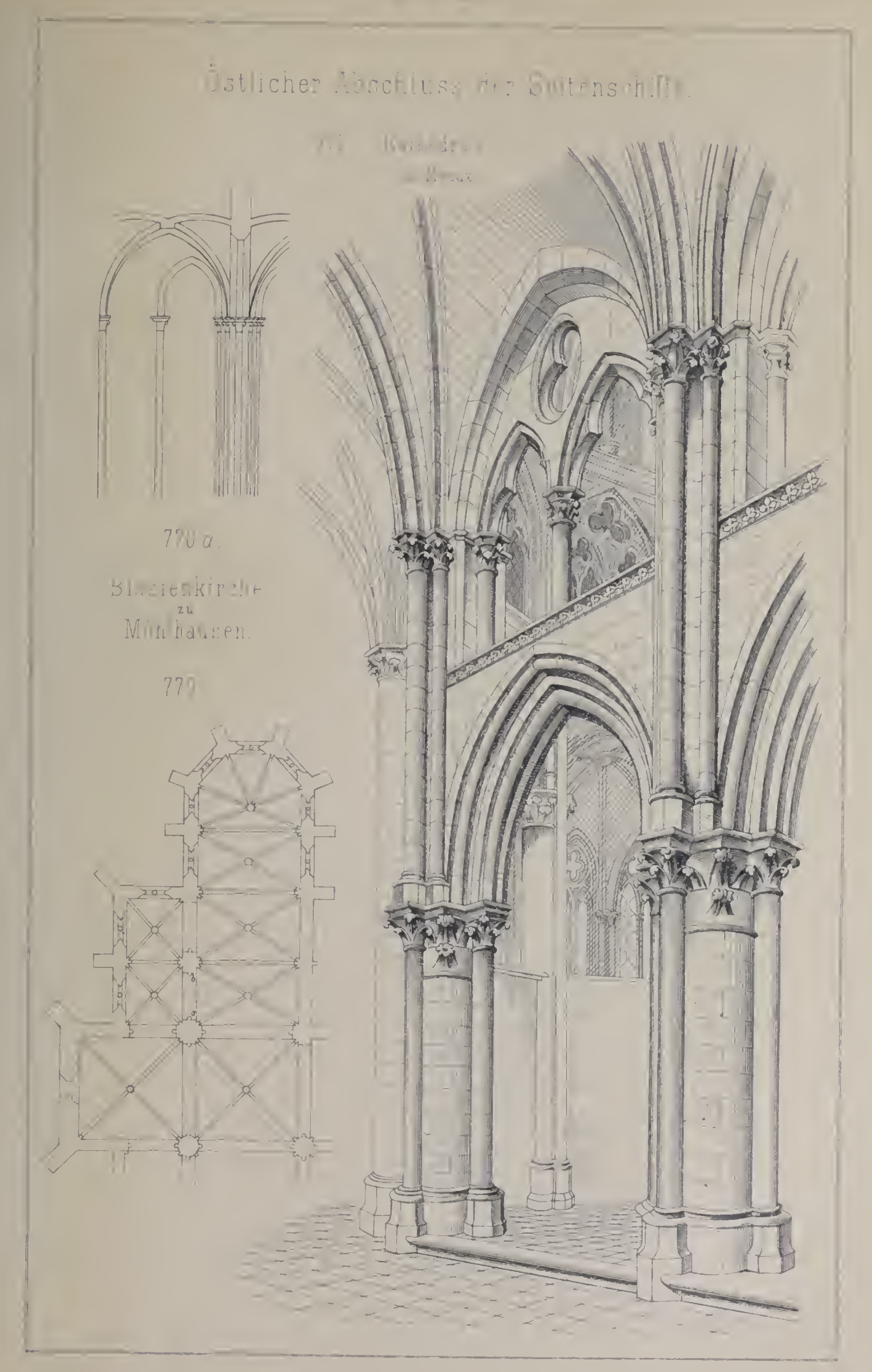
Eine andere Gestalt der Nebenchöre ergiebt sich, wenn statt der Seite *hi* in Fig. 773 die Diagonale *di* des betreffenden Joches zur Basis des Polygones wird, s. die rechte Hälfte von Fig. 772. An der Katharinenkirche in Oppenheim setzt sich an die Diagonale ein halbes Sechseck. Statt dessen kann man jedes beliebige andere Polygon verwenden und bei geeigneter Wahl desselben das östliche Fenster in die Achse der Seitenschiffe rücken. Noch ist die Anlage der Nebenchöre an einem hohen Chor zu erwähnen, wie sie sich an der Wiesenkirche in Soest findet (Fig. 774). Hier liegen an dem nach sieben Seiten des Zehnecks gebildeten Chor zwei nach fünf Seiten des Zehnecks gebildete Nebenchöre.

Nebenchöre bei Kreuzflügeln.

Die Bestimmung der Weite der Nebenchöre durch die Seitenschiffe ist weniger zwingend, wenn ein Kreuzflügel angeordnet ist mit erbreiterten Gewölben oder mit einer grösseren Zahl von Jochen. In ersterem Fall konnte der Nebenchor auf die Mitte des Kreuzschiffgewölbes, in letzterem Fall auf irgend ein Joch gerichtet sein, so dass zwischen dem Nebenchor und dem hohen Chor ein offener Raum übrig bleiben kann.

Wenn sich bei grösserer Länge der Kreuzflügel mehrere Nebenchöre an den Ostwänden derselben finden, so können sie wie in Frankfurt nach polygonaler oder wie im Dom zu Erfurt nach rechtwinkliger Grundform gebildet sein. Die letzterwähnten nehmen die volle Länge des nördlichen Kreuzflügels ein und sind so abgeteilt, dass auf jedes Joch zwei durch einen Pfeiler geschiedene treffen, welche

Östlicher Abschluss der Seitenschiffe.





bei geringer Tiefe mit Kreuzgewölben überspannt, aber ohne Fenster geblieben sind. Das seitliche Aneinanderreihen rechteckiger Nebenchöre ist besonders den Zisterzienserkirchen eigen. Einzelne englische Kirchen haben zwei Kreuzschiffe, von denen jedes östliche Kapellen erhalten hat (Salisbury, Lincoln). Die sonst noch auftretenden Bildungen der Nebenapsiden, die auf Tafel LXVIa meist dargestellt sind, bedürfen keiner eingehenden Erörterung.

Dreischiffige Kirchen ohne Kreuzflügel.

In der Fig. 772 ist die Grundrissbildung einer einfachen dreischiffigen Kirche gezeichnet, deren Langschiff der Einfachheit wegen in nur zwei Jochen dargestellt ist. Der Chor ist nach fünf Seiten des Achteckes gebildet, er ist durch ein rechteckiges Feld verlängert, zu dessen Seiten die Nebenapsiden liegen.

Der linksseitige Nebenchor ist gleichfalls nach fünf Seiten des Achteckes gezeichnet, die Ecke zwischen ihm und dem nächsten Strebepfeiler ist zur Anlage einer Wendeltreppe benutzt, welche soviel Raum erfordert, dass ihre lichte Kreisöffnung möglichst an keiner Stelle über die Mittellinien der Mauerdicken schneidet und von der Mitte des Strebepfeilers noch ein Stückchen entfernt bleibt.

An der rechten Seite ist ein schräg gestelltes Chorpolygon gezeigt, dessen Basis in die Richtung *uw* gelegt ist und nicht, wie es hätte natürlicher scheinen können, in die Richtung *uv*, denn im letzten Falle würde der Strebepfeiler durch die erste Polygonseite übermässig geschwächt sein.

Die Schiffsfelder sind in der Mitte als Rechtecke, an den Seiten als Quadrate angenommen. Die mit vier Diensten besetzten Rundpfeiler sind in diesem Fall so stark, dass ihr Grundkreis einem aus der Breite des Scheidebogens gebildeten Quadrat umschrieben ist. (Die Wölbglieder entwickeln sich aus ihnen, wie es weiter vorn an Fig. 427 ausgeführt worden.) Über den letzten Pfeilern am Chor kreuzen sich Scheidebogen und Triumphbogen, demgemäss können diese Pfeiler verstärkt werden, oder, wie in der Figur, mit vier weiteren Diensten besetzt werden. Für die Entwicklung der Wölbglieder aus dem Chorpfeiler geben die Figuren 772a und 772b zwei Lösungen.

Zur Vervollständigung ist an der Westseite ein Mittelturm vorgelegt, dessen Breite der Aussenflucht der Scheidebogen und dessen Mauerstärke einem Viertel der Breite gleichkommen möge. Das äussere Turmquadrat ist nach einer nicht seltenen Anordnung der Aussenflucht der Westmauer vorgelegt, so dass sich von *x* nach *y* ein Gurtbogen spannt, dessen Breite der Mauerdicke gleich ist. Die Gründe dieser Anlage wie überhaupt das Nähere über Turmgestaltungen siehe weiter unten.

Jenachdem der Innenraum des Turmes als offene Vorhalle oder als Verlängerung des Mittelschiffes dient, liegt die Eingangsthür in der östlichen oder westlichen Turmmauer.

Etwaige Nebeneingänge können in den Achsen der Seitenschiffe in den Westmauern oder etwa mitten an der Nord- oder Südseite oder, je nach der Grösse des Ganzen, an beiden Orten liegen. Eine ängstliche Beobachtung der Symmetrie, so dass etwa einem Nebeneingang auf der einen Seite ein gleicher auf der anderen gegenüberstehen müsse, ist hier am wenigsten am Platze. Die Lage

der Thüren richtet sich nach dem Zuge der Eingehenden, nach den Mündungen der Strassen, sie sind daher auf solchen Seiten, von welchen wenig oder gar kein Zuzug zu erwarten steht, wegzulassen oder kleiner anzulegen.

Die Sakristei oder andere Anbauten können dem jeweiligen Bedürfnis entsprechend an geeigneter Stelle angebaut sein, beispielsweise neben der Hauptapsis (wie in Fig. 772 links).

Wand- und Pfeilerstärken.

Die Stärke der Mauern hängt von der Beschaffenheit der Gewölbe, den Höhenentwicklungen, überhaupt von der ganzen Querschnittbildung ab, vergl. darüber die näheren Ausführungen weiter oben unter Widerlagern. Will man durchaus eine Faustregel haben, so kann man annehmen, dass die Scheidebogen bei mittelhohen Basiliken ebenso wie die von ihnen getragenen Mittelwände etwa so dick sind wie die Aussenwände einer einschiffigen Kirche gleicher Spannweite, dass ferner die Aussenwände der Seitenschiffe nach der Weite der letzteren, häufiger aber mehr nach der Weite der Mittelschiffgewölbe bemessen werden, also etwa den Scheidebogen gleichkommen. Über die Strebepfeiler bestimmte Angaben zu machen, ist bei der sehr verschiedenartigen Querschnittsentwicklung der Kirchen immer etwas gewagt (vergl. die Konstruktionsregeln bei der einschiffigen Kirche, S. 273 und die Stärke der Widerlager vorn S. 122 u. f.). Dasselbe gilt für die Dicke der Vierungs- und Mittelpfeiler.

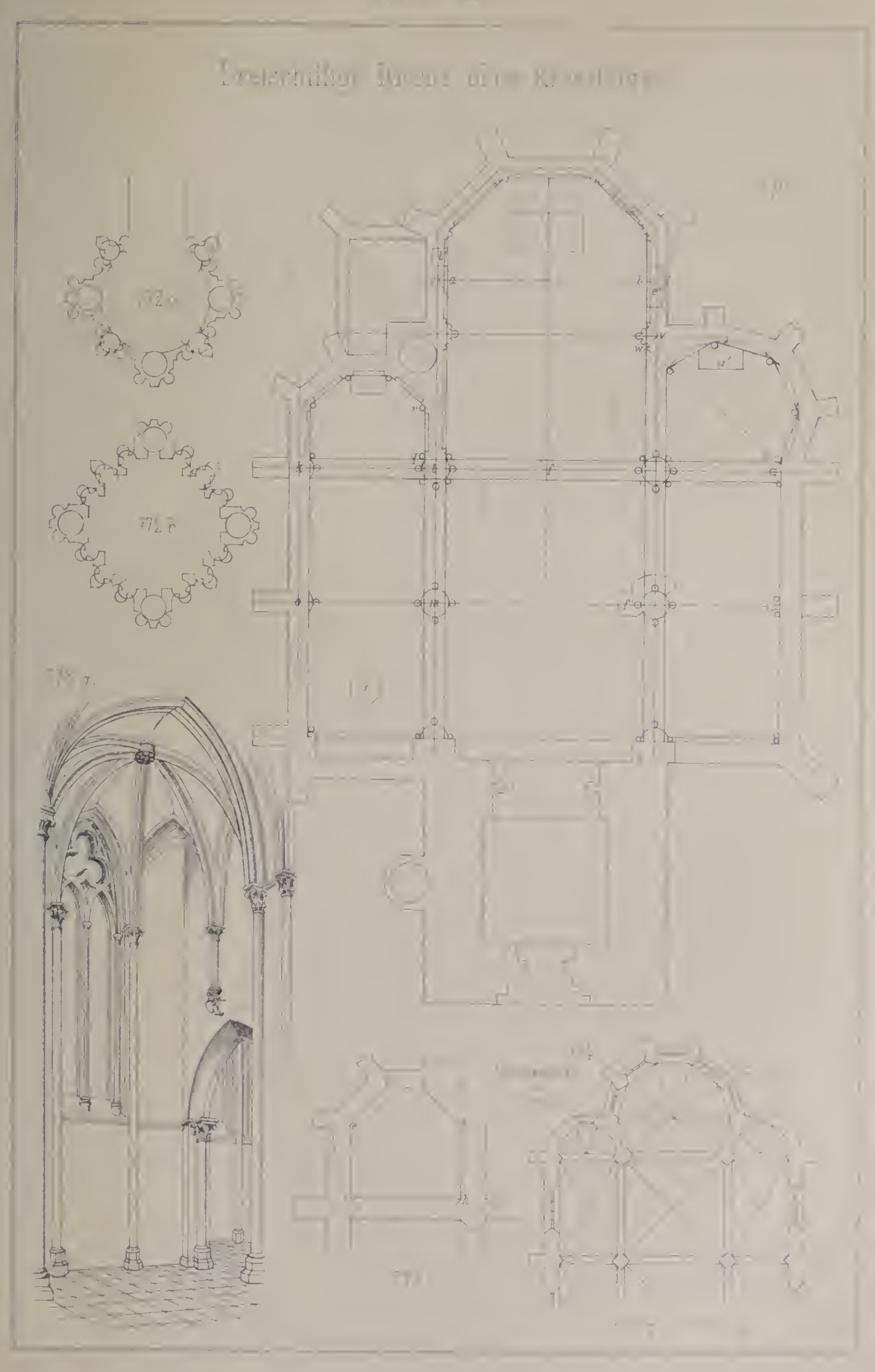
Die Seiten des Chorschlusses pflegen dieselbe Stärke wie die Schiffwände zu erhalten, den niederen Seitenapsiden kann man dagegen viel dünnere Mauern geben. Will man jedoch auch hier mit Rücksicht auf die Auflagerung des Dachwerkes oder die Bildung der Fenstergewände grosse Mauerdicken durchführen, so können wenigstens die Strebepfeiler sehr eingeschränkt oder, wie bei der Wiesenkirche zu Soest, ganz fortgelassen werden.

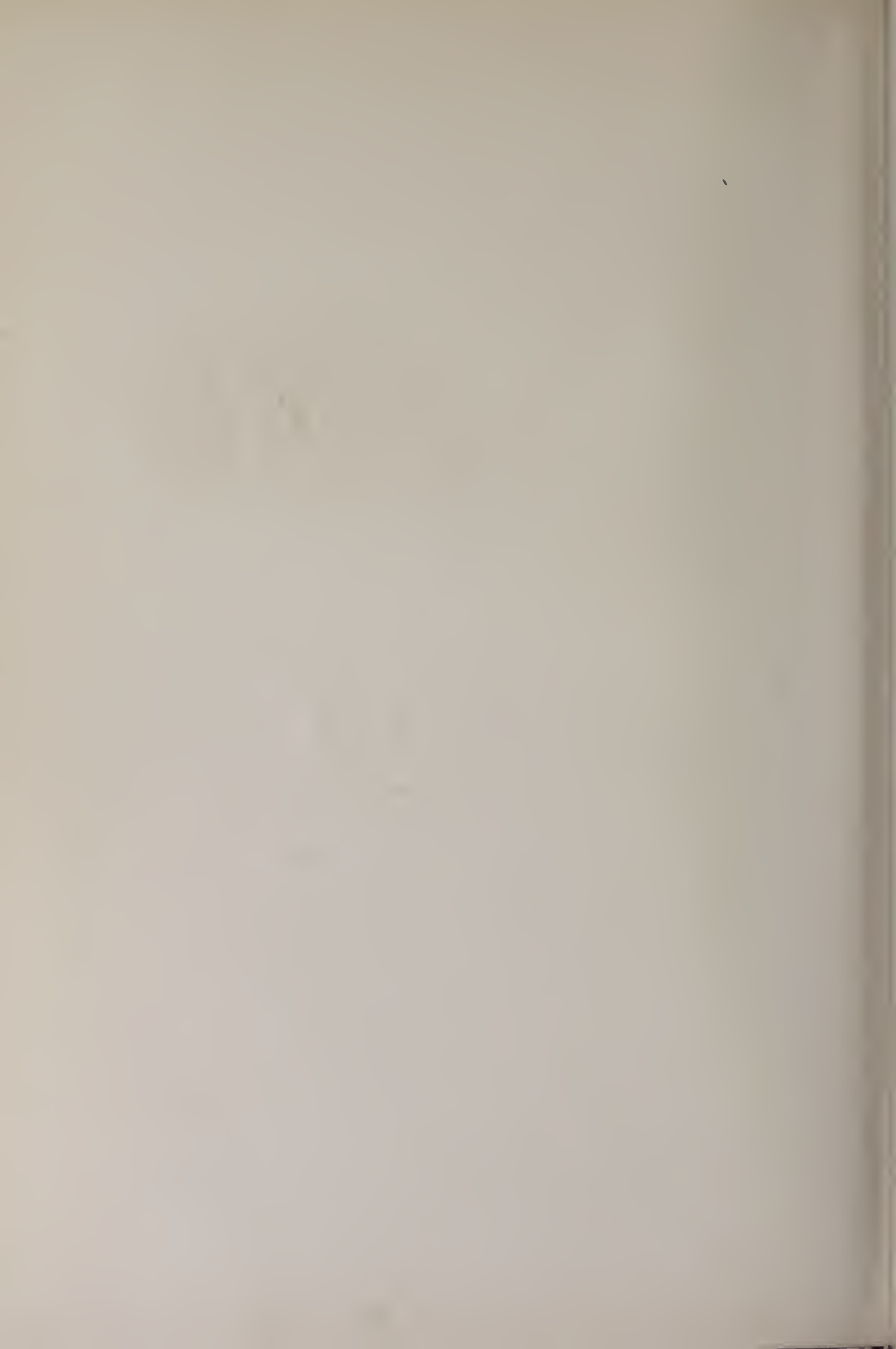
Die fünfschiffigen Kirchen.

Die Bereicherung des Chorgrundrisses durch Umgänge und Kapellenkränze (vergl. S. 298) führte bei den grösseren Kathedralen schon ziemlich früh auf fünf Schiffe in der Osthälfte. Werden dieselben sämtlich über die Kreuzflügel hinaus bis zur Westseite fortgeführt, so entsteht die eigentliche fünfschiffige Kirche. Es findet sich aber auch ein fünfschiffiges Langhaus mit einer einfachen Choranlage verbunden, so an St. Marien zu Mühlhausen, St. Severi zu Erfurt.

Bezüglich der Höhenentwicklung der Seitenschiffe lassen sich drei Systeme unterscheiden.

1. Die Seitenschiffe haben gleiche Höhe und die Pfeilerreihe trägt nur die Gewölbe und etwa noch einen Teil der Dachlast. Es tritt dieser Fall ein, wenn das wenig oder gar nicht erhobene Mittelschiff keiner Verstrebung bedarf, oder aber, wenn bei hohem Mittelschiff die Strebebogen über beide Seitenschiffe in einem Zuge gespannt sind, wie bei der Kathedrale von Paris und dem Ulmer Münster. Die Bedeutung der Zwischenpfeiler entspricht derjenigen bei


772 a.
772 b.



zweischiffigen Kirchen (siehe dort); sind die Spannweiten der Schiffe gleich, so dass sich die Schübe aufheben, so kann die nur von der senkrechten Belastung abhängende Pfeilerstärke sehr gering bemessen werden.

So ist an der Severikirche zu Erfurt das Verhältnis der Stärke dieser Zwischenpfeiler zu der Weite der Seitenschiffe von Pfeilerachse zu Pfeilerachse = 1 : 10. An St. Marien zu Mühlhausen beträgt dasselbe mehr, aber doch sind die Pfeiler wesentlich schwächer als die Hauptpfeiler, etwa im Verhältnis der Seite zur Diagonale, ausserdem scheint ursprünglich eine von der jetzigen abweichende und diese Zwischenpfeiler stark belastende Dachanlage beabsichtigt oder ausgeführt gewesen zu sein. Ein besonders geringes Stärkenverhältnis zeigt noch die den Seitenschiffen des Ulmer Münsters nachträglich eingefügte Pfeilerreihe, ebenso die Säulen in dem einst fünfschiffigen Chor der Klosterkirche von Walkenried.

2. Die Seitenschiffe haben ebenfalls gleiche Höhe, aber die Pfeiler haben Oberlasten dadurch, dass die Strebebogen in doppelter Spannung von den Mittelschiffsmauern nach den auf jener Pfeilerreihe aufzuführenden Zwischenpfeilern und von da weiter nach den äusseren Strebepfeilern geschlagen sind.

3. Es findet eine Abstufung der Höhen vom Mittelschiff zu den benachbarten und von diesen wieder zu den äusseren Seitenschiffen statt. Es erhebt sich, gleichwie über den mittleren Scheidebogen, auch über denjenigen zwischen den Seitenschiffen eine Aussenwand mit einem Triforium und den Lichtgaden darüber. Der Wölbschub des inneren Seitenschiffes wird durch besondere Strebebogen nach den an den äussern Mauern stehenden Strebepfeilern geleitet.

Die Anlage mit gleich hohen Seitenschiffen ist die gewöhnliche und findet sich z. B. in Köln, Paris und den Choranlagen zu Amiens, Chartres und Reims. Die Abstufung ist durchgeführt in der Kathedrale zu Bourges und in der Anwendung auf das Verhältnis der Chorkapellen zum Umgang in Beauvais und St. Quentin, in wesentlich vernüchterter Gestalt aber an dem Dom zu Mailand und anderen italienischen Werken.

Es würde unnütz sein, die Wirkung gleich hoher und abgestufter Seitenschiffe einem genauen Vergleich zu unterziehen. Beide sind aus richtigen Prinzipien folgerichtig entwickelt und wenn die Wirkung der letzteren überraschender ist, wenn namentlich die äusseren Triforien und Fenster vom Mittelschiff aus und durch die Scheidebogen hindurch gesehen einen besonders reichen und wechselvollen Anblick gewähren, wenn diese Anlage sich als die eigentliche Konsequenz des Systemes überhöhter Mittelschiffe darstellt, so bildet sich andererseits bei gleich hohen Seitenschiffen eine Vereinigung der Basilika mit der Hallenkirche, sie eignet sich die Vorzüge der letzteren in der freieren und luftigeren Gestaltung, welche die Seitenschiffgewölbe gewinnen, an.

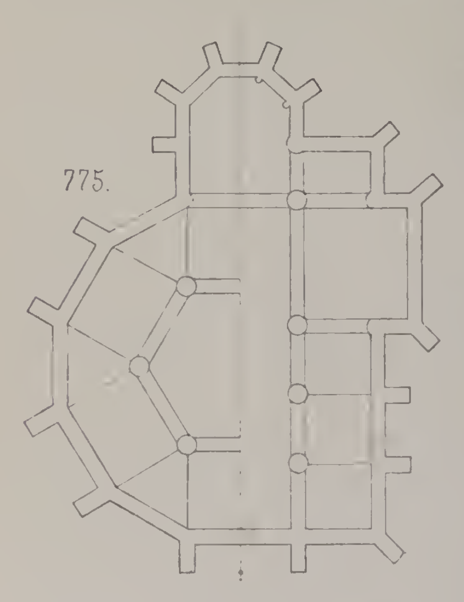
Die Einzelteile der fünfschiffigen Anlagen sind denjenigen der dreischiffigen Kirchen so nahe verwandt, dass sie mit diesen gemeinsam in den besonderen Kapiteln über den Chorschluss, die Turmanlagen usw. zur Behandlung gebracht sind.

Polygonale Grundform der Schiffe.

In der altchristlichen und byzantinischen Kunst zur glanzvollsten Anwendung gekommen, wie dies das Aachener Münster, S. Vitale in Ravenna und viele andere

Werke im Osten und Westen zeigen, wird die Zentralform für die eigentliche Kirche schon in der romanischen Zeit mit Ausnahme einiger italienischen Kirchen, der Templerkirchen und einzelner versprengter Beispiele beinahe aufgegeben, bis sie an der Grenzscheide der beginnenden gotischen Kunst in der Ausnahmebildung von St. Gereon in Köln einen neuen, dem entwickelteren System der Konstruktion entsprechenden Ausdruck findet.

Es ist auffallend, dass sie mit der weiteren Ausbildung der gotischen Kunst, abgesehen von kleineren Kapellen, noch mehr verschwindet und hauptsächlich dadurch zu erklären, dass sie das wirkliche Verhältnis zwischen Chor und Schiff gewissermassen umkehrt und dem letzteren eine überwiegende Bedeutung zuzuteilen scheint. So fordert eine jede konzentrische Grundform die Betonung des Zentrums, stört aber eben hierdurch die einheitliche Wirkung des Hauptobjekts und spaltet so die Sehlinie. Es ist diese Wirkung derjenigen eines Bildes zu vergleichen, in welchem der Hauptgruppe eine gleichbedeutende Nebengruppe gegenüberstände, oder der einer Perspektive, welche etwa auf zwei gleichbedeutende Strassen unter gleichem Winkel gerichtet wäre. Die Richtung nach dem Zentrum aber zur herrschenden zu machen, würde nur dann möglich sein, wenn in demselben wie in einem Zirkus eine Handlung vorginge oder die Gläubigen eine konzentrische Bewegung annähmen. Dabei erfordert der Zentralbau jedem bedeutenderen Raumbedürfnis gegenüber kolossale Dimensionen, besonders in der Höhe, oder die Anordnung eines Umgangs; er würde dann aber mit Vorteil in die Anlage der Kreuzform mit Seitenschiffen oder in eine jede rechteckige Grundform übergeführt werden können. Fig. 775 zeigt eine derartige Umwandlung einer Polygonkirche in eine Kreuzkirche von gleichem Raum und gleicher Länge.



In kleineren Verhältnissen dürften der Polygonform noch eher gewisse Vorteile eigen sein, die sich darin zusammenfassen lassen, dass sie eine organische Entwicklung einer grösseren Schiffsweite aus der Chorweite ergiebt.

Das polygonale Schiff kann entweder mit „einem“ Gewölbe überspannt sein, oder je nach der Zahl der Seiten in eine Zahl dreieckiger Joche zerlegt werden, die von einem Mittelpfeiler ausgehen. In letzterem Falle kommt die Anordnung auf die in der Fig. 765 gezeigte hinaus, im ersteren auf die gewöhnliche Choranlage. Überhaupt werden sich mit Annahme einer inneren Pfeilerstellung leicht noch verschiedenartige Kombinationen entwickeln lassen. Indessen werden alle solche Anlagen ein bedeutendes Höhenverhältnis, besser aber noch eine Überhöhung des Mittelraumes verlangen, um nicht von aussen ein ungeschicktes Ansehen zu bieten.

Sowie nun die Zentralisation einerseits durch die Choranlage aufgehoben wird, so kann dies mit Vorteil auch noch durch einen westlichen Vorbau geschehen, welcher entweder eine Vorhalle abgeben wird, oder aber zum inneren Raum zu ziehen ist. Geradezu als verkehrt muss es aber bezeichnet werden, wenn dann einer allseits gleichmässigen Grundrissanlage halber auch noch nach den Seiten Vorbauten gemacht werden, die etwa eine Sakristei oder andere Nebenräume enthalten sollen, weil so für diese Räume eine ungebührliche Gleichberechtigung mit dem Chor beansprucht wird. Andererseits wird ein Öffnen dieser seitlichen Vorbauten nach dem inneren Raum zu den Charakter des Polygons aufheben und auf die Kreuzform hinüberleiten.

Besser als für eine wirkliche Kirche eignet sich die Polygonform zur Anlage aller solcher Kapellen, in welchen die Scheidung zwischen Schiff und Chor nicht stattfindet. Hierher gehören alle Taufkapellen, Gedächtniskapellen, Gruftkapellen usw., wie sie denn auch besonders an den Baptisterien in allen Perioden der mittelalterlichen Kunst wiederkehrte. Derartige Zentralbauten sind in der gotischen Kunst sogar mit besonderer Liebe ausgebildet. Die Gotik war dem Zentralbau nicht abhold, sie wies ihm aber seinen richtigen Platz zu. Will man für neuere Kirchen Zentralbauten verwenden, so ist man in der gotischen Kunst um Vorbilder nicht verlegen.

4. Die Kreuzflügel mehrschiffiger Kirchen.

Einschiffige Kreuzflügel.

Die dem Mittelquadrat oder Vierungsfelde zu beiden Seiten anliegenden, das Kreuzschiff bildenden Joche bleiben entweder in der Flucht der Seitenschiffe oder treten darüber hinaus.

Grundriss des Kreuzflügels.

Die erstere Anordnung findet sich z. B. in dem Dome zu Regensburg (Fig. 776), im Dome und in St. Severi zu Erfurt usf. und verringert wesentlich die Geltung der Kreuzanlage, besonders bei gleicher Höhe der Schiffe.

Vorspringende Querschiffe können entweder quadratische Joche bilden (Fig. 777, 778), wie in den Domen zu Magdeburg oder Halberstadt, oder aus mehreren aneinander gereihten oblongen Jochen bestehen (Fig. 779). Die Endung kann, wie an der Westseite, durch eine gerade Giebelmauer, oder gleich der des Chores durch den Halbkreis bezw. ein Polygon bewirkt werden, wie an der Elisabethkirche in Marburg (Fig. 780), der Kirche zu Frankenberg, der Kreuzkirche zu Breslau, den Domen von Noyon und Soissons.

Form des Kreuzpfeilers.

Der Grundriss der Kreuzpfeiler wird, wie schon mehrfach bemerkt und zuletzt an der analogen Bildung der den Triumphbogen tragenden Pfeiler in Fig. 772b gezeigt, am einfachsten aus dem der darauf sitzenden Bogen entwickelt, also über das Mass der Schiffspfeiler verstärkt. Je nach den Verhältnissen des Durchschnittes kann diese Verstärkung grösser oder kleiner sein, unter Umständen kann sie auch ganz wegfallen. Die dann entstehende Gleichheit der Schiffs- und Kreuzpfeiler findet sich an manchen, und zwar bedeutenden Werken mit gleichen

Schiffshöhen, wie der Kirche zu Wetter, der Marienkirche zu Mühlhausen und der Blasienkirche daselbst, jedoch hier mit der Modifikation, dass die Kreuzpfeiler mit acht, die Schiffspfeiler mit vier Diensten besetzt sind. Die Ursachen dieser Gleichheit, welche auf den ersten Anblick etwas Überraschendes hat, sind die folgenden.

Der Schiffspfeiler muss genügende Stärke haben, um dem Überschuss der Schubkraft des weiter gespannten Joches zu widerstehen; Fig. 781 zeigt einen Teil der Kirche zu Wetter, *A* ist der Kreuzpfeiler, *B* der Schiffspfeiler, dessen Masse daher dem in der Richtung *B b* wirkenden Überschuss der Schubkraft des Mittelschiffgewölbes zu widerstehen hat. Da nun die in den Richtungen *A c* und *A d* wirkenden Schubkräfte vermöge der grösseren Fläche des Mittelquadrates ungleich grösser sind als die entgegen wirkenden, so müsste der Pfeiler *A* seitwärts geschoben werden, wenn ihm nicht die Gestaltung des Durchschnittes zu Hülfe käme. Die Figuren 781a und 781b zeigen die Durchschnitte nach *B b* und nach *A B* oder *A d*.

Gesetzt es sei die Pfeilerstärke in ersterer Figur unzureichend, so würde bei *a* in dem Bogen des Seitenschiffes ein Bruch entstehen und der Scheitel *b* sich heben, mithin der Einsturz erfolgen.

Gesetzt aber, es sollte in der Richtung des Durchschnittes, Fig. 781b, dieselbe Wirkung durch den Überschuss der Schubkraft des weiter gespannten Bogens stattfinden, so würde ein Bruch der Scheidebogen oder die Hebung des Scheitels durch die auf denselben aufgeführte Mauer, deren Last noch durch das Gewicht der Dachkonstruktion vermehrt wird, verhindert, mithin eben hierdurch die Stabilität des Pfeilers gesichert werden.

Mit anderen Worten, die Oberlast des Vierungspfeilers bewirkt, dass in ihm die Stützlinie in mehr senkrechter Richtung nach unten geleitet wird, dabei ist aber zu beachten, dass die Oberlast mehr auf den schmalen als auf den breiten Bogen gehäuft werden muss (vergl. den Einfluss der Bogenübermauerung in dem Beispiel II auf S. 157). So ist es sehr wohl möglich, dass der viel stärker belastete Vierungspfeiler ebenso widerstandsfähig ist wie der gleich dicke Schiffspfeiler. Natürlich darf die Pressung des Materials im Widerlagspfeiler das zulässige Mass nicht überschreiten.

Eckpfeiler mit Gurt im Querschiff.

Wenn die Kreuzflügel über die Flucht der Seitenschiffe vorspringen, wie in der Fig. 782, so ergiebt sich für den dem Kreuzpfeiler bei *A* gegenüberstehenden Eckpfeiler der Seitenschiffe ein eigentümliches Verhältnis. Es würde derselbe nämlich nur dann durch ein Stück des Kreuzpfeilers gebildet werden können, wenn er mit dem gegenüberstehenden Pfeiler durch einen dem Scheidebogen gleichen Bogen verbunden wäre. Da aber für die Anlage des letzteren alle Gründe fehlen, so ist eine einfache Gurtrippe, mithin auch unter derselben nur ein schwächerer Dienst *d* statt des entsprechenden Pfeilerteiles nötig. Es ergeben sich daher verschiedene in Fig. 783—785 dargestellte Lösungen.

In Fig. 783 haben wir eine Gliederung der sämlichen Pfeiler nach den darauf sitzenden Bogen angenommen und die Dienste nur durch die rechtwinkligen Ecken angegeben. Dabei ist eine Gestaltung der Scheidebogen aus zwei konzentrischen Ringen angenommen, so dass der Schiffspfeiler *a* aus zwölf und der daraus gebildete Kreuzpfeiler aus sechzehn Diensten besteht. Für die gegenüberstehenden Eckpfeiler behalten wir dann vorläufig dieselbe Gestaltung bei und ebenso für die Wandpfeiler der Seitenschiffe die der Schiffspfeiler *a*, so dass die eigentliche Mauer wegfällt und die Stärke der Scheidebogen die der Fensterwand bestimmt. Hiernach sind an dem Eckpfeiler *c* die beiden Dienste *d* und *e* ohne Funktion geblieben. Es müssen dieselben daher wegfallen, während bei unveränderter Stellung der Dienste *f* und *g* der Gurtrippendienst *h* nach *i* zurückzusetzen ist, so dass der Wandpfeiler *f i g* von der sonstigen Pfeilergliederung abweicht. In dieser Weise ist es erreichbar, den Gurtbogen *h* mitten vor die Längsachse der Wand zu stellen.

In der Kirche zu Wetter zeigt sich die Umbildung des entsprechenden Wandpfeilers *d*, Fig. 781 in etwas gewaltsamer Weise bewirkt. Die Grundform ist die der Schiffspfeiler und

kommt nach den Seitenschiffen hin, wo sie zu verwenden war, zu ihrer vollen Entwicklung. Nach dem Kreuzschiff hin aber ist der überflüssige Kreisteil durch eine Fortführung der Wandflucht kurzer Hand abgeschnitten und nur ein Dienst zur Aufnahme der Gurt- und Kreuzrippen aufgestellt.

Zu einer eigentümlich künstlichen Anordnung hat dieselbe Ungleichheit der Bogen in der Kirche St. Ouen in Rouen geführt und zwar, da auch die Kreuzflügel von Seitenschiffen begleitet sind, in dem an das Mittelquadrat anstossenden Joch. Es gehen nämlich von dem Eckpfeiler dieses Joches zwei Kreuzrippen aus, so dass das ganze Joch in fünf Teile zerfällt und so die Weite zwischen den Diensten dieser Rippen eine glatte Fläche bildet. Die Fig. 784 soll nur das Prinzip der Anordnung anschaulich machen, ohne irgend welche Genauigkeit zu beanspruchen, da sie nach einer flüchtigen Skizze ohne Aufmessung ausgeführt ist. Dasselbe Prinzip auf die in Fig. 783 angenommene Dienststellung angewandt, würde für die beiden, dem Mittelquadrat anliegenden Kreuzschiffjoche die Fünfteilung oder, wenn die Seitenschiffe sich jenseits der Kreuzschiffe fortsetzen, die Sechsteilung bedingen.

Am einfachsten löst sich der Eckpfeiler, wenn man darauf verzichtet, den Gurt in die Verlängerung der Wandmitte fallen zu lassen. Es werden dann die erforderlichen Dienste einfach aneinander gereiht, wobei der Gurtbogen (vergl. Fig. 785) mehr gegen das Mittelschiff rückt.

Sollen hiernach die Fenstergewände unmittelbar an die Dienste anschliessen, so würden sie am Kreuzschiff aussen näher in die Ecke rücken, als die Seitenschiffsfenster.

Aus den verschiedenen oben angeführten Fällen geht hervor, wie gebieterisch eine jede Veränderung in dem Verhältnis der Bogen sich geltend macht, und die Wirkung derselben nur verschoben, nicht aufgehoben werden kann. So zeigt sie sich in Fig. 783 in der veränderten Gestaltung der Kreuzschiffsdienste, in Fig. 784 in der des Gewölbegrundrisses und in Fig. 785 in der Breite des Fensterpfeilers. Letztere Ungleichheit freilich würde kaum bemerklich sein, wenn die Fenster eine geringere Grösse erhielten, sie bleibt aber im Wesen bestehen. Noch muss jedoch bemerkt werden, dass in den wenigsten Fällen die auf die ganze Wandfläche ausgedehnten Fenster in den Winkeln des Kreuzes auf ihre volle Breite offen bleiben, in der Regel vielmehr durch Strebepfeiler oder Treppentürme, wie an dem Kölner Dom, zum Teil geschlossen werden. An der eben erwähnten Kirche St. Ouen findet sich in dem betreffenden Winkel ein übereckstehender Strebepfeiler. Solche Strebepfeiler sind dazu bestimmt, die Anlage der Strebebogen zu erleichtern, wie weiter unten gezeigt werden wird. Soll die Breite der oberen Mauer durch einen über den Fensterbogen zwischen die Strebepfeiler gespannten Bogen vergrössert werden, so liegt es am nächsten, zur Aufnahme desselben in den Winkeln der Kreuzarme den betreffenden Teil *k* in 783 des Pfeilergrundrisses vortreten zu lassen.

Eckpfeiler ohne Gurt im Querschiff.

Wenn die Kreuzarme seitwärts vorspringende Gewölbefelder, z. B. solche von quadratischer Grundform haben, wie in Fig. 778, so legt sich dem Eckpfeiler *a* überhaupt kein Gurtbogen vor. Bei gleicher Höhe der Schiffe wird dann der von dem Scheidebogen exzentrische Schildbogen ersteren in seiner Höhe beschränken, wie Fig. 770a zeigt, hierdurch aber keine günstige Wirkung hervorbringen. Durch eine Halbierungsrippe (Fig. 777) kann die Wirkung wesentlich gebessert werden, man neigt deshalb dazu, an dieser Stelle einen Hauptanstoss zur Aufnahme sechsteiliger Gewölbe zu suchen. Die Rippe braucht nur an einer Seite eingeschaltet zu werden und kann selbst schräg geführt sein (Fig. 778, rechte Hälfte). Etwaige Fenster in den Seitenmauern der Kreuzschiffe werden natürlich auch exzentrisch.

Bei niedrigen Seitenschiffen wird die exzentrische Stellung der tiefer liegenden Scheidebogen weniger störend, sowie auch die darüber anzubringenden Fenster wieder in die Mitte rücken können.

Kreuzflügel mit Seitenschiffen.

Bei mehrschiffigen Kreuzflügeln ergeben sich besondere Bedingungen für die Grundrissbildung der Vierungspfeiler und der in den Ecken des Kreuzes befindlichen Wandpfeiler.

Grundriss des Eckpfeiler

Die Fig. 786 zeigt das Schema einer solchen Kreuzpartie, in welcher die Pfeiler *a* und *b* die in Fig. 786a gezeigte, sich aus der Zahl und Grösse der darauf treffenden Bogen ergebende Gestalt erhalten. Dabei kann immerhin die Stärke der Fenstergewände noch nach aussen hin vergrössert werden mit Rücksicht auf die Aufrissentwicklung.

Bei gleichhohen Schiffen würden die Fensterbogen den Gegenschub gegen die Gurt- und Kreuzrippen *a* und *b* (Fig. 786a) des Gewölbes zu leisten haben, daher ihre Lage und Gestaltung hiernach einzurichten sein.

Bei Anlage eines überhöhten Mittelschiffs wird über diesen Eckpfeilern ein Strebepfeiler nötig zur Aufnahme der gegen die oberen Pfeiler des Mittelschiffes geschlagenen beiden Strebebogen, deren Mittellinie mit jener der Gurtrippen *a* zusammenfällt. Für diesen Strebepfeiler aber ist die in Fig. 786 angegebene Grundfläche des Eckpfeilers nicht hinreichend. Das einfachste Mittel zur Verstärkung besteht darin, dass in Fig. 786a die Fenster weiter fortgerückt oder bis fast zur Mitte durch zwei im Winkel stehende Strebepfeiler *c d d c* verschlossen werden. In diesem Fall kann die Rinne oder Dachgallerie über den Seitenschiffen etwa auf einer Auskragung vor den Strebepfeilern herumgeführt werden.

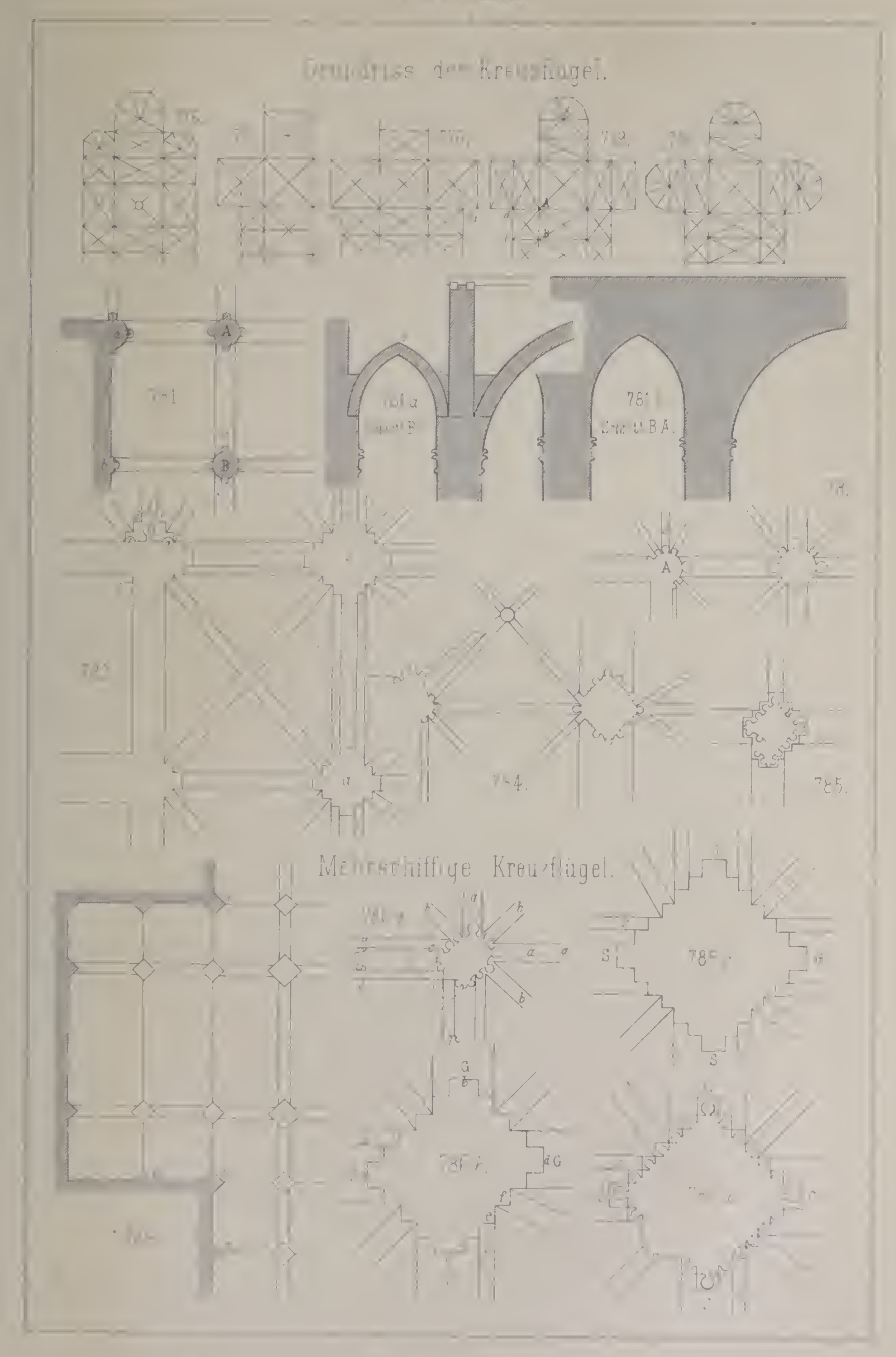
Es kann ferner dem Schub der beiden unter rechtem Winkel zusammentreffenden Strebebogen ein diagonal stehender Strebepfeiler entgegengestellt werden, wobei die Fenster sich wieder öffnen. Der Strebepfeiler erhält dabei die in Fig. 786a punktierte Grundfrom und die Dachgallerie führt durch denselben hindurch.

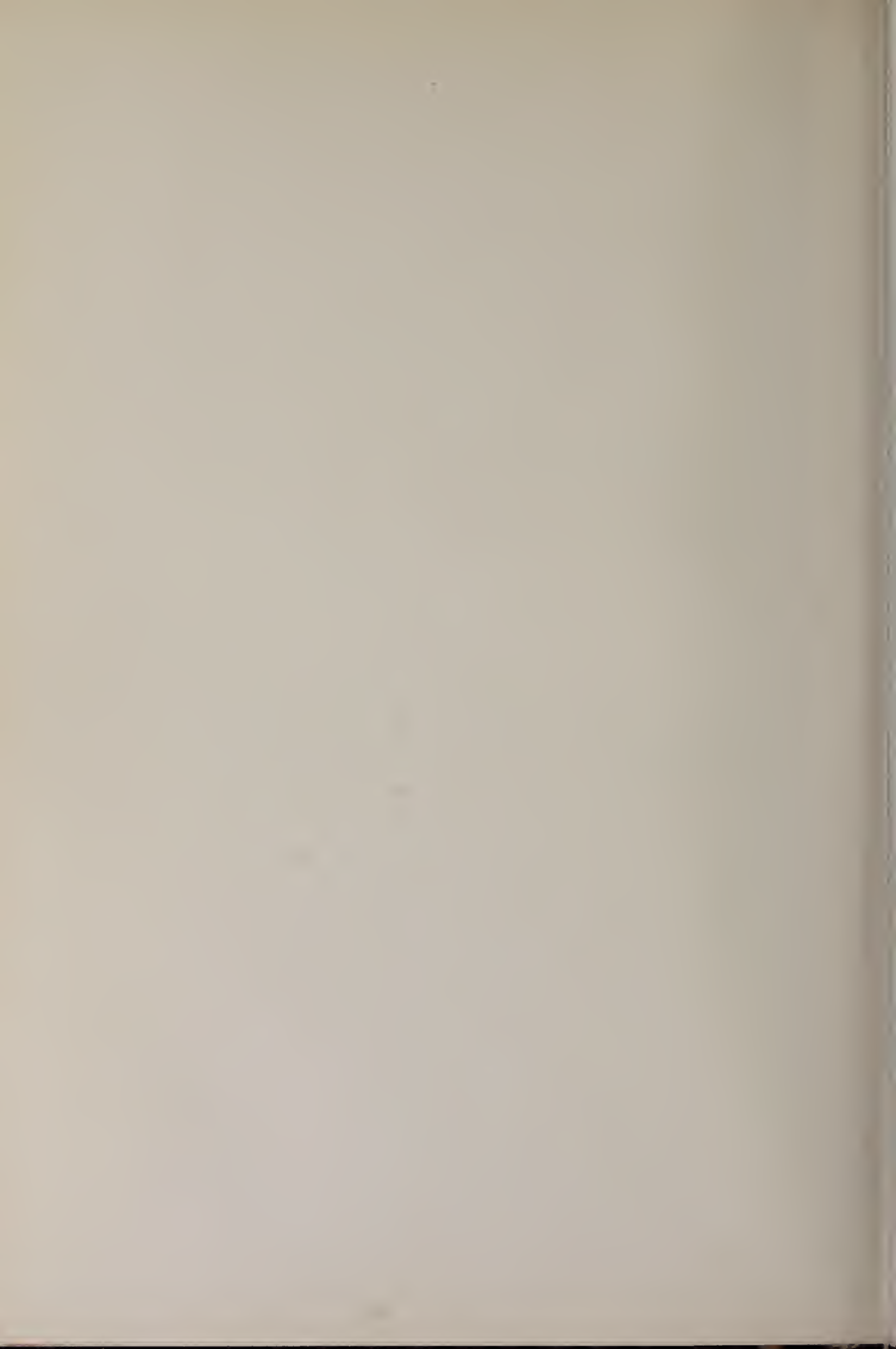
Alle die erwähnten Strebepfeileranlagen könnten vermieden und die Schubkräfte der Strebebogen von diesen Eckpfeilern aus durch einen zweiten Flug nach den zunächststehenden Strebepfeilern *m* und *n* in Fig. 786 geführt werden, so dass diese letzteren von dem erwähnten zweiten Strebebogen in der Flanke getroffen werden und die Strebesysteme auf dem Eckpfeiler *a* sich kreuzen, wobei dann die Schubkraft der nächsten Fensterbogen beziehungsweise ein neben dem Fenster noch bleibendes Wandstück den Widerstand jener in der Flanke getroffenen Strebepfeiler verstärkt. Eine derartige Anordnung findet sich in der Kirche von St. Ouen in Rouen.

Weitere Schwierigkeiten ergeben sich für die Grundrissbildung der das Mittelquadrat einschliessenden Kreuzpfeiler aus den bei überhöhtem Mittelschiff notwendigen Schildbogen.

Kreuzpfeiler bei Gurten ohne Schildbogen.

Vortretende Schildbogen werden nur gefordert durch den Anschluss der Gewölbekappen an geschlossene Mauerflächen, um die Bogenlinie zu erzielen. Letztere ergiebt sich beim Anschluss der Kappen an Gurt- oder Scheidebogen durch die Aussenlinie dieser letzteren von selbst. Daher sind Schildbogen nötig


Grundriss der Kreuzflügel.
A
B
Mehrschiffige Kreuzflügel.
784.
785.
S
G



an dem überhöhten Mittel- und Kreuzschiff, nicht aber an den Seitenschiffen und ebenso wenig an den das Mittelquadrat einschliessenden Gurtbogen, wenn nicht an letzteren die beabsichtigte Anlage eines Zentralturmes eine Verstärkung notwendig macht.

Sollten hiernach die Kreuzpfeiler in der Weise gegliedert werden, dass jedem Bogen ein Dienst und jedem Scheidebogen deren drei unterstehen, so entstände für denselben der aus Fig. 786b ersichtliche Grundriss, worin *G*, *G* die das Mittelquadrat einschliessenden Gurtbogen und *S*, *S* die Scheidebogen bezeichneten. Die Seiten *a b* und *c d* des um den Pfeiler beschriebenen Vierecks wurden grösser als die anderen und zählten einen Dienst mehr für den Schildbogen.

Diese Gestaltung hätte, wie die Figur zeigt, den Nachteil, dass die Mittellinien der Scheidebogen und die das Mittelquadrat einschliessenden Gurtbogen auseinander fallen, sowie den zweiten, dass die Dienste *e* der Schildbogen dieselbe Stärke erhalten, als die mit *f* bezeichneten der Kreuzrippen. Diese Nachteile müssen zur Beibehaltung der konzentrischen Gestaltung führen.

Verringern wir also die Dienstzahl der Seiten *a b* und *c d* um je einen, so ergeben sich folgende Anordnungen.

Erstlich es können die Dienste der Schildbogen aus der Stärke der Scheidebogen genommen werden, d. h. über den letzteren aufsitzen. Wenn dann die oberen Fenster des Mittelschiffs die ganze Jochseite füllen, so können die Bogen derselben zugleich Schildbogen sein (s. *a* in Fig. 846), und etwa noch durch einen aus den Kappenfluchten herausschneidenden Zusatz *b* verstärkt werden, der seine Entwicklung aus der Kappe nimmt. Jedenfalls aber wird hierdurch die obere Fensterwand in einer für die Aufrissentwicklung nachteiligen Weise (wie später gezeigt werden soll) hinausgerückt. Es ist deshalb vorteilhafter, die Dienste der Schildbogen vor die Flucht der Scheidebogen vortreten zu lassen und das kann in zweifacher Weise geschehen. Entweder es sitzen dieselben auf den zu diesem Zweck erweiterten Kapitälen der Kreuzrippendienste mit auf, oder aber sie sind weiter unten jedoch oberhalb der den Scheidebogen unterstehenden Kapitäle ausgekragt.

Nach dem hier über die Bildung der regelmässig gegliederten Pfeiler Gesagten werden sich dieselben Fälle bei Annahme jeder anderen Grundform leicht lösen lassen.

Kreuzpfeiler bei Gurten mit Schildbogen.

Sollen auch die das Mittelquadrat einschliessenden Gurtbogen Schildbogen erhalten, so erfordern sie fünf Dienste (vergl. Fig. 786c). Gegenüber Fig. 786b würde über den Seiten *a b* und *c d* die Dienstzahl je um einen, über *a c* und *b d* aber um je zwei vermehrt sein. Es würden hiernach die Scheidebogen die in Fig. 423 angegebene Gestaltung der Münster von Strassburg und Freiburg erhalten müssen, d. h. nach den Seitenschiffen zu aus drei, nach dem Mittelschiff zu aus zwei Bogenschichten bestehen, falls nicht in den Seitenschiffen zwei völlig überflüssige, keinen Dienst thuende Dienste angebracht werden sollten, welche dann nur den Kappen unterständen.

Indes auch mit Beibehaltung der gewöhnlichen nach beiden Seiten gleichen Scheidebogen lässt sich eine vollkommen den aufgesetzten Teilen entsprechende Gestalt der Kreuzpfeiler erzielen, wenn die überflüssigen Dienste im Seitenschiff durch eine rechtwinklige Verstärkung des Pfeilerkörpers ersetzt werden, in deren Ecke dann der Kreuzrippendienst seinen Platz findet. Die Fig. 786d zeigt diese letztere in den Kathedralen von Soissons und Chartres vorkommende Anordnung, durch welche der Pfeiler eine der Ecke des oberen Zentralturms wie der Kappenflucht entsprechende Grundform und eine sehr nützliche Verstärkung erhält.

Wir haben um so eher geglaubt, die Auflösung dieser Verhältnisse genauer entwickeln zu müssen, als dieselbe nicht überall in glücklicher Weise gelungen ist, wie denn z. B. an den Kreuzpfeilern der Kathedrale von Reims solche müssige Dienste sich nicht vermieden finden.

5. Grundriss des Chores mehrschiffiger Kirchen.

Anschluss mehrerer Nebenchöre.

Über die Grundform eines einfach gebildeten Hauptchores ist schon bei den einschiffigen Kirchen (S. 258 u. f.) gesprochen, ebenso hat der Anschluss eines seitlichen Nebenchores in östlicher oder diagonaler Richtung bereits (Fig. 772—774) seine Erläuterung gefunden. Handelt es sich darum, zu jeder Seite des Hauptchores mehr als einen Nebenchor anzuschliessen, so kann eine einfache Nebeneinanderreihung erfolgen (Fig. 787) oder bei verlängertem Seitenschiff eine Abstufung (Fig. 787a). Noch belebter wird der Grundriss, wenn die Kapellen in diagonaler Richtung sich in die Winkel eines das Kreuzschiff durchdringenden Seitenschiffjoches legen (Fig. 788). Ein Beispiel bildet dafür St. Yved in Braine.

Ist die Jochteilung im Chor und Kreuzflügel gleich, so dass sich eine gleiche Länge für die Seiten *i k*, *k b*, *b m* und *m n* ergiebt und das Feld *b k l m* ein Quadrat wird, so werden die Kapellen einander gleich und symmetrisch.

Wenn diese Voraussetzung nicht zutrifft, wenn also *k l* von *l m* abweicht, *l m* aber gleich *m n* und *l k* gleich *k i* ist, so werden die Grössen der beiden Nebenchöre verschieden, im übrigen kann jeder in sich seiner Form und seiner Richtung nach regelmässig bleiben.

Ist *b m* = *m n* und *b k* = *k i*, so werden die Kapellen unsymmetrisch, jedoch bildet *i l n* noch eine gerade Linie.

Fällt auch letztere Gleichheit weg, so werden die Linien *n l* und *l i* in *l* einen Winkel bilden und somit auch die Richtungen der halben Polygone abweichend werden, wenn nicht der Pfeiler *l* in die Linie *i n* gerückt wird, wobei das Joch *m b k l* seine Form als Parallelogramm verliert. In ähnlicher Weise können sich noch weitere Unregelmässigkeiten ergeben.

Bei gleicher Höhe der Schiffe und Kapellen verursacht die Abstrebung selbst bei verwickelten Kapellengrundrissen meist keine zu grosse Schwierigkeit, da es gewöhnlich durch geeignete Mittel möglich ist, den Wölbschub schon oben so weit als nötig auszugleichen.

Bei überhöhtem Mittel- und Kreuzschiff kann dagegen die Notwendigkeit, den Wölbschub zu bekämpfen, zu eigenartigen Bildungen für die Strebebogen oder Strebepfeiler an den Punkten *k*, *m* und auch *i*, *n* führen.

So würden die dem Gewölbschub ausgesetzten Punkte *k* und *m* durch die Strebebogen *k l* und *m l* zu sichern sein, letztere aber auf einen in *l* stehenden, die Kapellen scheidenden Strebepfeiler stossen, welcher den Schub der Strebebogen in Richtung der Resultierenden aufnimmt.

Nach demselben System würden von *i* nach *o* und von *n* nach *p* Strebebogen zu schlagen, mithin auch in den letzteren Punkten Strebepfeiler anzulegen sein. Die Gestaltung derselben muss dann eine derartige sein, dass die Fenster der Kapellenseiten nicht dadurch beschränkt werden. Es ist daher vorteilhaft, sie um eine geringe Weite über die Punkte *o* und *p* hinauszurücken, wie bei *o* angegeben ist.

Es würden sich ferner diese Strebepfeiler vermeiden lassen durch Anlage eines freistehenden äusseren Strebepfeilers *q*. In den Punkten *o*, *p* und *l* würden dann freistehende Pfeiler zu stehen kommen und die Strebebogen aufnehmen, welche von *n* nach *p* und weiter nach *q* in doppeltem Fluge, ebenso von *i* nach *o* und *q* sich spannten, während die von *m* und *k* nach *l* geschlagenen in der Richtung der Resultierenden *l q* den Pfeiler erreichen müssten.

Die Strebebogen *i o* und *n p* können aber vermieden werden, wenn die Kapellenwände zur Abstrebung ausreichen oder wenn, wie die rechte Hälfte von Fig. 788 zeigt, die Kapellen soweit verkleinert werden, dass an den Punkten *t* und *u* die Anlage von Strebepfeilern möglich wird. Hierbei kann zugleich die Öffnung zwischen den Kapellen so sehr wachsen, dass in

den Wänden *v w* und *x y* die Anlage von Fenstern wieder möglich wird. Zugleich aber wird die Spannung der Scheidebogen *r z* durch den Pfeiler *t r* beschränkt. Es kann diese Beschränkung aufgehoben werden durch eine Abweichung von der regelmässigen Polygonbildung in der Weise, dass die Strebepfeilerflucht eine der Polygonseiten bildet.

Diese Auskunftsmittel werden überflüssig sobald die Kapellengrundrisse aus Rechtecken mit angefügten dreiseitigen Chorschlüssen nach dem Achteck bestehen, wie Fig. 788a zeigt. Es fallen die Kapellenwände mit den Strebepfeilern in *a* und *b* zusammen und es werden höchstens für die Punkte *c* und *d* Strebebogen nötig, welche in dem in *e* zu errichtenden Strebepfeiler ausreichendes Widerlager finden.

Dagegen ist der letzteren Anordnung der Nachteil eigen, dass bei orientierter Stellung der Altäre, die selbst in den radial gerichteten Chorkapellen des französischen Systems beibehalten ist, der in der östlichen Kapelle aufzustellende Altar an die gerade östliche Schlusswand zu stehen kommt, mithin der polygonale Schluss seitwärts liegen bleibt und ziemlich überflüssig erscheint.

Die ganze Grundrissbildung geht mit Entschiedenheit in den Zentralbau über, wenn auch den westlichen Winkeln zwischen Schiff und Kreuzarmen gleiche Kapellensysteme wie den östlichen eingefügt werden, wie in der Liebfrauenkirche zu Trier (Fig. 789). Als eigentliche Kapellen oder als Nebenchöre freilich können diese westlichen Räume nicht gelten; vielmehr haben wir es hier mit einer der Choranlage nachgebildeten Erweiterung des Kreuzbaues zu thun. Immerhin aber dürfte in der ganzen Anlage die höchste Stufe der Durchbildung des Zentralbaues zu erkennen sein.

Choranlagen mit Umgang.

Wir haben in dem Vorhergehenden die verschiedenen Gestalten des Langhausbaues wie des Centralbaues aufgeführt. Die reichste Ausbildung des kirchlichen Grundrisses, diejenige der französischen Choranlagen, ergiebt sich aber aus der Verbindung beider Systeme. Es ist diese Verbindung so wörtlich zu verstehen, dass sie unmittelbar durch die Anfügung eines halben Zentralbaues an eine dreischiffige Kreuzkirche sich bilden kann, so dass der ursprüngliche Mittelraum des Zentralbaues zum hohen Chor, der Umgang desselben zum Chorumgang und der ursprüngliche Chor desselben zur östlichen Kapelle wird. Auf diesem Wege gelangt man einfachsten Falles zu dem in Fig. 790 dargestellten Chorgrundriss, der sich je nach der Seitenzahl des Polygons modifiziert.

Der Umgang nimmt an dem im hohen Chor celebrierten Amt nicht teil, er kann Altäre und Grabdenkmäler aufnehmen, gelangt aber erst zu seiner eigentlichen Bedeutung, wenn er den Zugang zu einer östlichen Kapelle oder zu einem Kapellenkranz vermittelt.

Beanspruchung der Chorpfeiler.

Des Durchblicks nach dem Umgang und den Kapellen wegen ist es erwünscht, die Chorpfeiler dünn zu machen, ganz besonders dann, wenn sie bei vielseitigem Polygon geringen Abstand haben. Die geringere Stärke ist auch duchführbar, da die Beanspruchung der Chorpfeiler günstiger ist als die der Schiffspfeiler.

Haben Chor und Umgang gleiche Höhe, so wirkt die Gewölbefläche *a b c e f* in der Richtung nach innen, die Fläche *a b c d* in der nach aussen, da *a b c* die Scheidebogen belastet und so die Pfeiler herausdrängen hilft. Während daher in der parallelen Verlängerung und ebenso im Schiff das Überwiegen der durch *g h k i* repräsentierten Schubkraft über die von *g k l m* abhängige zu einer Verstärkung der Pfeiler *g* und *k* zwingt, lässt die annähernde Gleichheit der

oben bezeichneten Flächen im Polygon dieselbe überflüssig erscheinen und die Pfeilerstärken ausschliesslich durch die senkrechte Last bedingt werden. Aber selbst die letztere ist, wie der Augenschein zeigt, weitaus geringer als im Schiff; wenn z. B. $ef = lm$ ist, so beträgt die Wölblast nur etwa die Hälfte derjenigen im Schiff.

Bei überhöhtem Chore wird die Schubkraft des Chorgewölbes ohnehin durch die Strebebogen den äusseren Strebepfeilern zugeführt und die Pfeilerstärke nur von der senkrechten Belastung und der Notwendigkeit des Widerstandes gegen die dem Zentrum zudrängende Schubkraft des Umgangs bedingt werden. Diesem begegnen aber schon die in den Polygonseiten sich bewegenden, durch Mauern belasteten Scheidebogen, die sich im Grundriss ringförmig verspannen.

Es ergiebt sich daher in beiden Fällen die Möglichkeit einer beträchtlichen Verringerung der Chorpfeilerstärke unter diejenige der Schiffspfeiler. Da aber durch die Dicke der Scheidebogen sowohl, wie durch die Rippen und Dienste der Umgangs- und Chorgewölbe doch nahezu dasselbe Tiefenmass der oberen Pfeilerfläche gefordert wird wie im Schiff, so wird bei der geringeren Stärke der Chorpfeiler entweder das Kapitäl eine um so weitere Ausladung erhalten oder aber der Pfeilergrundniss die konzentrische Grundform verlassen und bei geringerer Breite unverringerte Tiefe behaupten müssen.

An den älteren französischen Werken, den Kirchen von Mantes, von St. Leu, der Kathedrale von Noyon usw., ist die notwendige Fläche zum Aufsetzen der oberen Partien über den schwachen Rundpfeilern, deren Durchmesser noch weit unter der Stärke der Scheidebogen bleibt, nur durch die kühne Ausladung der viereckigen Kapitäle gewonnen, an anderen, wie der Kathedrale zu Rouen, kommt der Kapitälausladung noch eine aus dem oberen Rande vortretende Auskragung zum Aufsetzen der Chordienste zu Hilfe. So lässt sich überhaupt durch die Verbindung mit Kragsteinen, wie bereits in dem die Kapitälbildungen behandelnden Abschnitt erwähnt, von dem runden Pfeiler aus eine jede durch das ganze System geforderte Grundform gewinnen.

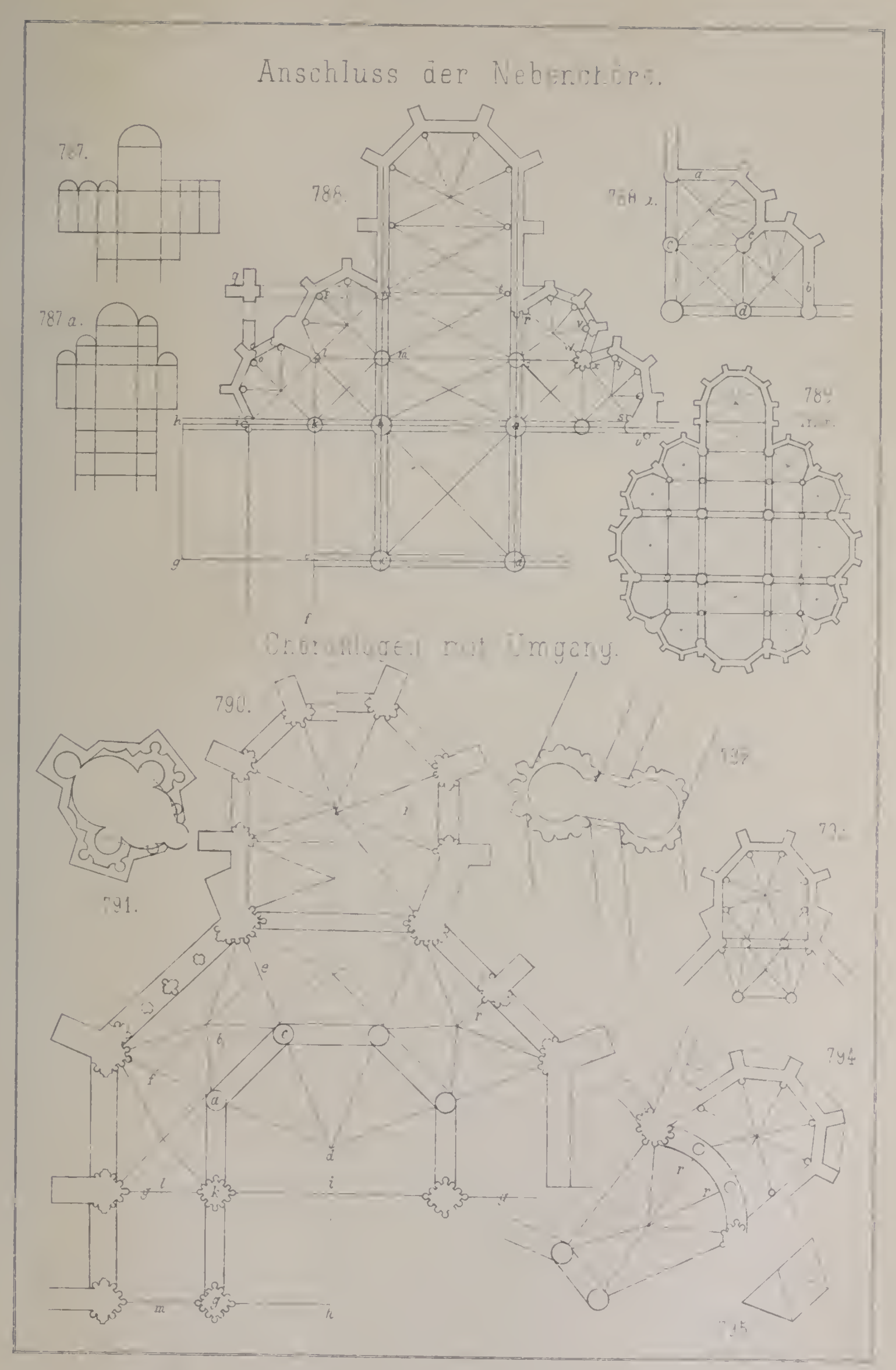
Grundriss der Chorpfeiler.

Die Abweichung von der runden oder konzentrischen Pfeilergrundform geschieht, wie wir in den Figuren 425—426 gezeigt haben, zunächst durch die eigentümliche Aufstellung der Dienste. Wir fügen den obigen Beispielen noch das der Chorpfeiler der Kathedrale von Beauvais bei (Fig. 847), an welchem die Tiefe der durch Pfeiler und Dienste gewonnenen Grundform noch durch Anordnung einer Auskragung vergrössert und so die malerische Wirkung der ganzen Kapitälbildung noch beträchtlich erhöht wird.

Es sind hier nämlich den Rundpfeilern nach dem Umgang zu drei, nach dem Chor aber nur ein Dienst angesetzt. Die Kapitäle der ersteren haben etwa die halbe Kapitälhöhe des runden Kernes, der einzelne Dienst aber bleibt ohne Kapitäl, durchdringt den Abakus und bildet unmittelbar darüber den Kern einer zusammengesetzten Auskragung, auf welcher wieder drei Dienste aufsitzen, für die Kreuzrippen des Chorgewölbes nämlich und für die Bogen der oberen Fenster. Dabei unterscheiden sich die Pfeiler im Chorpolygon von denen der parallelen Verlängerung des Chores nur durch das Fehlen der an den letzteren hinzukommenden Dienste unter den Scheidebogen.

Ein für den vorliegenden Fall im höchsten Grade charakteristischer Grundriss entsteht, wenn der Pfeilerkern nicht aus einem, sondern aus zwei der Tiefe nach mit einander verwachsenen Cylindern von verschiedenem Durchmesser besteht, welche dann wieder mit vier Diensten besetzt sein können, von welchen

Tafel LXX.



Anschluss der Nebenchöre.
787.
787 a.
788.
788 a.
Choranlagen mit Umgang.
790.
791.
794



zwei das Zusammenschneiden der Cylinder verdecken. Diese Anordnung findet sich in Ste. Gudule in Brüssel, s. Fig. 791, in reicherer Ausbildung aber im Kölner Dom. In der Kathedrale von Coutance sind beide Cylinder völlig aus einander gerückt und nur durch ein Stück Wand verbunden, demgemäss tragen sie auch doppelte Scheidebogen, welche wieder durch die den Fussboden des Triforiums abgebenden übergelegten Steinplatten mit einander zusammenhängen (s. Fig. 792).

Joche des Umgangs.

Wenn eine östliche Kapelle vorhanden ist, so verwächst mit deren Längenmauern der Strebepfeiler des Umganges (Fig. 790 links), oder aber es bildet derselbe zugleich diese Mauer, so dass die Kapelle mit einem trapezförmigen Joch beginnt (s. die rechte Hälfte von Fig. 790). In beiden Fällen fallen für dieses erste Joch die Fenster weg. Die Einteilung der sonstigen Joche der Kapelle und der polygonale Schluss derselben kann stark wechseln. Es kann indes diese östliche Kapelle auch die quadratische Grundform behaupten, wie es die Kathedrale zu Auxerre und die Tafeln 28 und 32 in dem Album des Vilars de Honnecourt zeigen.

Die übrigen Polygonseiten des Umgangs sind von Fenstern durchbrochen. Sie erhalten bei der Entwicklung aus dem Achteck leicht eine die übrigen Bogen des Umgangs weit übersteigende Länge, welche sowohl für die Aufrissentwicklung der Schildbogen, wie für die Anlage der Fenster unbequem wird.

Das nächste Mittel, diesen Mangel zu beseitigen, bietet die Teilung der Wand durch einen Pfeiler in der Mitte und eine von demselben nach dem Scheitel des Gewölbes gehende Halbierungsrippe *r* (Fig. 790 rechts), wodurch wieder zwei Schildbogen und ebenso zwei Fenster herbeigeführt werden. Diese Anordnung findet sich z. B. an Ste. Gudule in Brüssel. Vor der östlichen Kapelle würde einer Teilung durch zwei schwächere Säulen der Vorzug zu geben sein, wonach der Gewölbegrundriss in dem Umgange und in der Kapelle etwa die in Fig. 793 dargestellte Umwandlung erfahren würde. Die Aufstellung dieser Säulen mit der Absicht, die Spannung des Scheidebogens zwischen Umgang und Kapellen zu teilen, findet sich an einzelnen älteren französischen Werken, so an St. Remy in Rheims und Notredame zu Chalons; nach der in unserer Figur gezeigten Weise aber an der Kathedrale zu Auxerre und noch reicher auch an der Collegiatkirche St. Quentin (s. Fig. 794).

Ein anderes Mittel, zu demselben Zweck zu gelangen, liegt in der Beseitigung der Trapezform der einzelnen Joche des Umgangs, zu Gunsten von rechteckigen Jochen mit dazwischen liegenden Dreiecken, wonach also die Aussenwand des Umgangs die doppelte Seitenzahl des Chores erhält.

Schon die altchristlichen Zentralbauten, wie das Aachener Münster, sodann die Klosterkirche zu Essen, zeigen diesen in unserer Fig. 775 in der linken Hälfte dargestellte Bildung des Umganges, welche in einzelnen deutschen Werken des XV. und XVI. Jahrhunderts wie in St. Sebald in Nürnberg, der Frauenkirche in Bamberg (Fig. 804), dem Freiburger Münster, auf welche wir weiterhin zurückkommen werden, noch zu den verschiedensten Gewölbegrundrissen geführt hat. Hierher gehört ferner die an der Liebfrauenkirche in Worms vorkommende Zerlegung (Fig. 795)

jedes Trapezes des Umgangs in drei Dreiecke, wobei die Seite des Umganges wieder durch einen mittleren Pfeiler halbiert wird.

Die in die Längenrichtung fallenden Polygonseiten des Umgangs erhalten durch die Lage des Gurtbogens *k l* (Fig. 790) ein anderes Mass, als die übrigen Seiten. Auch diese Unregelmässigkeit kann auf dem zuletzt angegebenen Wege einer Verdoppelung der Seitenzahl des Umgangs beseitigt werden (vergl. Fig. 804).

Geschlossener Kapellenkranz.

Durch eine Vermehrung der Zahl der dem Umgang angelegten Kapellen gelangen wir zu der reichsten Anordnung, zu dem Kapellenkranze.

Die Kapellen können geschlossen aneinander stossen und nur durch die Strebepfeiler von einander geschieden sein, oder aber zwischen sich noch mit Fenstern versehene Joche des Umgangs lassen.

Weitere und sehr wesentliche Verschiedenheiten ergeben sich für die Gesamtanlage aus der Wahl des Chorpolygons.

Chorschluss nach fünf Seiten des Achtecks.

Werden z. B. aneinanderstossende Kapellen dem Chorschluss aus dem Achteck angefügt, so wird die oben angedeutete Ungleichheit der Seiten der Umgangswand (vergl. Fig. 790) sich auch in den Kapellen aussprechen, ja noch stärker hervortreten. Es wird in diesem Falle die Verlängerung der östlichen Kapelle um ein oder mehrere rechteckige Joche einer Gleichheit der drei östlichen vorzuziehen sein, damit die durch dies geringere Mass der in die Längenrichtung fallenden Kapellen gleichsam zufällig entstandene Ungleichheit zu einer systematischen werde. In dieser Weise ist der Kapellenkranz von St. Ouen in Rouen angelegt.

Diese Ungleichheit der Kapellen nimmt ab mit der Zunahme der Seitenzahl des Polygons und wird daher beim Zwölfeck weit geringer als beim Achteck. Sie findet sich indes an den Werken des Mittelalters in der verschiedensten Weise beseitigt.

Ein Mittel zur Herstellung gleicher Kapellen liegt darin, für die Aussenwand des Umganges von der regelmässigen Polygonbildung abzugehen. In Fig. 796 sei

Sieben Seiten des Zwölfecks.

a b c d das Zwölfeck eines Chores, dessen Mittelpunkt in *i* liegt, *a k* die Weite des Umgangs, so ergiebt sich die Gestaltung desselben durch die Siebenteilung des mit dem Radius *i k* aus *i* beschriebenen Bogens. Hiernach werden die Kapellenwände allerdings gleich, allein die Richtung der Kreuzrippen des hohen Chores gegen die Gurtrippen des Umgangs bildet einen Knick, wie z. B. an der Kirche vom Kloster Altenberg und der Kathedrale von Chartes.

Wenn diese Ungleichheit der Richtung auch nur einen geringen Stärkenzusatz für die Chorpfeiler erforderlich macht, so ist sie dennoch prinzipiell als eine Unvollkommenheit anzusehen.

Beseitigt wird die Unregelmässigkeit durch das umgekehrte Verfahren, wonach nicht der hohe Chor, sondern die Wand des Umganges als regelmässiges Polygon sich gestaltet (s. Fig. 797), dessen Basis die Gesamtweite von Chor und Umgang ist und dessen Mittelpunkt in *C* liegt. Der erste Eckpunkt *d* des Chorpolygons ergiebt sich dann aus dem Durchschnitt des Radius 1 *C* mit der in *e* errichteten, also die Weite des hohen Chores begrenzenden Lotrechten,

die übrigen aus den Durchschnittspunkten der Radien 2 *C*, 3 *C* usw. mit dem aus *C* mit dem Radius *Cd* beschriebenen Bogen. Hiernach ist auch der Chorschluss nach einem regulären Zwölfeck gebildet, und nur die in die Längenrichtung fallenden Seiten *de* und die gegenüberliegende erhalten eine grössere Länge als die übrigen.

Von der soeben gezeigten Konstruktion weicht die des Kölner Domchores insoweit ab, dass die Eckpunkte des Zwölfecks des hohen Chores wie des Umgangs (vergl. die rechte Hälfte von Fig. 797) in den Peripherien der aus *C* mit *Cg* und *Cf* beschriebenen Kreise liegen, während die Punkte *h* und *b* dieselben bleiben. Hiernach erhalten die ersten Seiten der Polygone ausser der Vergrösserung noch eine veränderte Richtung, d. h. sie fallen nicht mehr in die Längenrichtung, sondern konvergieren nach Osten.

Die Grössenzunahme dieser Seiten hat ausser der dadurch bewirkten Gleichheit der Kapellen noch weitere Vorteile.

Erstlich liegt der Schlussstein des Chorgewölbes *C* soweit östlich von der Linie *eh*, dass die von den Pfeilern *e* und *h* nach demselben gespannten Rippen nicht mehr in die Verlängerung der Chorrippen *dC* und *kC* fallen, hierdurch aber um so eher geeignet sind, dem Gesamtschub der übrigen Chorrippen Widerstand zu leisten.

Der zweite Vorteil hängt mit der Funktion der Pfeiler *h* und *e* zusammen, welche dieselbe Rippenzahl aufzunehmen haben wie die Pfeiler der parallelen Chorverlängerung und der Schiffe, daher mit denselben eine gleiche, die Chorpfeiler übertreffende Stärke erhalten. Bei völliger Gleichheit der Längen *ed*, *dl* usw. würde daher die Spannung der Scheidebogen *ed* beeinträchtigt werden und zu den stärkeren Pfeilern ein Missverhältnis bilden, welches durch die Vergrösserung der Seitenlängen glücklich vermieden wird.

Für die Innenperspektive ist der allmähliche Übergang von der weiten Stellung der Wand zu der engen des Chorpolygones besonders wohlthuend.

An den Chören der Kathedralen von Amiens und Beauvais ist die betreffende Vergrösserung geringer, als aus Fig. 797 hervorgeht. Mit Aufgabe der regulären Polygonbildung für Chor und Umgang lässt sich ein jedes beliebiges Verhältnis der ersten Polygonseiten zu den übrigen unter einander gleichen erzielen.

Die Konstruktion an der Kathedrale in Amiens findet sich bei VIOLLET LE DUC, dict. d'arch. tom. II. pag. 332. Danach wäre die Entfernung von der Grundlinie des Chorpolygons bis zum Mittelpunkt *x* in Fig. 798 als eine bestimmte Grösse von $2\,^1/_2$ m (ungefähr $^1/_{13}$ *A B*) hingetragen, aus diesm Mittelpunkt über der Gesamtbreite *A B* von Chor und Umgang ein Kreisbogen geschlagen, letzterer in sieben Teile geteilt, aus jedem Teilpunkt ein Radius gezogen, der aus dem der Grundlinie zunächstliegenden Punkte 1 bez. 6 gezogene über den Mittelpunkt hinaus bis zur Durchschneidung mit der Grundlinie verlängert und durch diesen Durchschnittspunkt *N* bez. *M* die Weite des hohen Chores bestimmt.

Weiter würden dann die Durchschnittspunkte der oben angeführten Radien mit dem aus dem Mittelpunkt über der Weite *M N* des hohen Chores geschlagenen Kreisbogen die übrigen Eckpunkte des Chorpolygons, also die Mittelpunkte der Chorpfeiler, bestimmen.

Bei dieser Konstruktion werden im Gegensatz zu derjenigen von Köln (Fig. 797) die Rippen *C M* und *C P* (Fig. 798) im Grundriss gleich lang, dadurch wird das Rippensystem regelmässiger, während andererseits das vorteilhafte Abstreben des Schubes durch die längeren Rippen *C e*, *C h* (Fig. 797) fortfällt.

Würde im Grundriss von Amiens eine andere Überhöhung x zu Grunde gelegt sein, so würde bei der angegebenen Konstruktion die Gleichheit der Kapellenseiten C H und C F bestehen bleiben, aber die Mittelschiffweite sich ändern, und zwar würde ein grösseres x einem breiteren, ein kleineres x einem schmaleren Mittelschiff entsprechen. Bei Beauvais ist z. B. das Mittelschiff grösser.

Umgekehrt würde es übrigens auch sehr wohl möglich sein, zunächst die Schiffsweiten anzunehmen und daraus durch „Probieren" das zugehörige x zu ermitteln. Bei diesem Gange würde allerdings Viollet's Annahme, dass nicht der Erbauer Thomas de Cormont, sondern bereits Robert de Luzarches den Plan des Chores vor Ausführung der Schiffe gemacht habe, seine Stütze verlieren. — Sei dem wie dem wolle, jedenfalls muss der Chorgrundriss von Amiens als meisterhaft abgewogen angesehen werden.

Fünf Seiten des Zehnecks.

Die hier entwickelten Chorkonstruktionen aus sieben Seiten des Zwölfeckes oder einer ähnlichen Kreisteilung sind den Werken erster Grösse wie den genannten drei Kathedralen eigen. In beschränkteren Verhältnissen würde die Entfernung der Chorpfeiler von einander hiernach zu gering werden und ist dann der fünfseitige Chorschluss aus dem Zehneck angenommen, nach welchem, wie Fig. 799 zeigt, die Kapellen sowie die Joche des Umgangs ohne weitere Veränderungen ganz von selbst gleiche Grösse erhalten.

Mauer- und Pfeilerstärken.

In den gegebenen Figuren sind nur die Schemata der beabsichtigten Gestaltungen entwickelt, welche bei der weiteren Ausführung mit den Mauer- und Pfeilerstärken bekleidet werden müssen.

[illegible]

des Gurtbogens, die Strebepfeilerstärke derselben der Diagonale dieses Masses gleich und bestimme die Länge dieser Strebepfeiler wie bei einem einfachen Chor.

Die Stärke der grossen Strebepfeiler zwischen den Kapellen, welche dann die Strebebogen aufzunehmen haben, bestimme man nach der Diagonale der Scheidebogenstärke des hohen Chores und lasse dieselbe um die gleiche Weite über den Anschluss der Kapellenwände vorspringen. Hiernach ergiebt sich auch eine passende Bestimmung der Längen der Kapellenstrebepfeiler durch den aus dem Mittelpunkt *o* mit *op* geschlagenen Kreisbogen.

Die Strebebogen am Chor der Basilika bekommen gewöhnlich weit weniger Schub als diejenigen am Langschiff. Das hohe Chorgewölbe übt auf die Polygonecken nur einen Schub aus, der $^1/_4$ bis höchstens $^1/_2$ so gross ist wie derjenige eines Mittelschiffjoches. Als Windstreben haben die Strebebogen am Chor gleichfalls weniger Bedeutung, dagegen können bei grosser Fensterbreite die in einem stumpfen Winkel zusammenschneidenden Schildbogen einen nach aussen gekehrten resultierenden Schub erzeugen, der beim Langschiff nicht vorkommen kann.

Gewöhnlich brauchen die Strebebogen des Chores ebenso wie ihre Strebepfeiler zur Aufnahme dieser Schübe längst nicht so kräftig zu sein als beim Schiff. Trotzdem werden sie häufig ebenso stark gemacht, da zu schwere Strebebogen am Chor weniger zu fürchten sind als am Schiff. Denn ein zu grosser nach innen gekehrter Druck, der beim Schiff ein steifes Gewölbe oder einen gut übermauerten Gurt voraussetzt, kann am Chor leicht in den ringförmigen Polygonmauern aufgenommen werden. Dabei können höchstens die Scheidebogen und deren Obermauern nach der Vierung zu gedrängt werden, wo sie einen entsprechenden Gegenschub finden müssen. Weit gespannte oder gar durch einen Vierungsturm belastete Vierungsbogen können sogar so stark schieben, dass sie die Schiffspfeiler umstürzen würden, wenn nicht an der Westseite der Turm und an der Ostseite das gut abgestrebte Chorpolygon genügenden Gegendruck leisten könnten. Der Einsturz des Vierungsturmes in Beauvais dürfte vorwiegend darauf zurückzuführen sein, dass im Westen noch kein Wiederlager durch die Kirchenwände und den Turm vorhanden war.

Strebepfeiler zwischen den Kapellen.

Die geringe Stärke der Kapellenwände beim Anschluss an die Pfeiler führte an den Kathedralen von Amiens und Beauvais auf die eigentümlich geistreiche Anordnung, dass der eigentliche Strebepfeiler, welcher den Schub der Strebebogen abschliessen soll, nicht mit der Innenflucht des Seitenschiffes anfängt, sondern weiter hinausgerückt ist, etwa nach *qrst* (vgl. Fig. 797), über den Pfeilern des Umgangs aber Zwischenpfeiler von mehr konzentrischer Grundform, welche das Sechseck an dem Pfeiler 2 andeutet, hochgeführt sind. Diese letzteren nehmen nun den Strebebogen unmittelbar auf und von demselben sind wieder kleinere Strebebogen nach den eigentlichen Strebepfeilern *qrst* gespannt, so dass die Kapellenwände erst da belastet sind, wo sie durch ihre zunehmende Stärke die erforderliche Tragkraft erlangt haben.

Man konnte bei einem solchen Strebesystem auch den zwischen den Kapellen befindlichen Mauerteil mit einer Bogenöffnung durchbrechen. Bei der Kathedrale von Coutance, deren eigentlicher Strebepfeiler erst von den Diensten *v* und *w* angeht, bilden sich, wie die rechte Hälfte von Fig. 797 zeigt, zwischen den Pfeilern und den Strebepfeilern selbst dreiseitige Gewölbejoche, welche die ein-

zelnen Kapellen mit einander in Verbindung setzen und gewissermassen einen zweiten engeren Umgang bilden. Die rechte Hälfte von Fig. 797 zeigt diese Anordnung.

Eine Verstärkung der die Kapellen scheidenden Mauerteile und ebenso der in den Ecken des Umgangs stehenden Pfeiler wird dagegen nötig, wenn die die Strebebogen aufnehmenden Strebepfeiler unmittelbar von dem Umgang aus beginnen, mithin jene kleinen Zwischenbogen wegfallen sollen. Sie wird ferner gefordert, wenn die Mauer oder die Fensterwand der Kapellen zwischen den Strebepfeilern weiter hinaus gerückt ist, und etwa noch durch letztere hindurchführende Umgänge hat, wie in der Kathedrale zu Rheims.

Diese Verstärkung der Wände zwischen den Kapellen kann erzielt werden entweder durch eine Verkleinerung der Kapellen oder durch die Einschaltung von Strebepfeilern mit parallelen Seitenflächen zwischen den Kapellen, wie in St. Pierre zu Löwen, wonach also die Grundform der Kapellen von der regelmässigen Polygonbildung abweicht (s. Fig. 800), oder aber dem polygonen Schluss derselben ein trapezförmiges Joch vorgelegt ist, in ähnlicher Weise, wie es bereits hinsichtlich der östlichen Kapelle bei Fig. 790 angegeben wurde.

Eine Zunahme der Kapellentiefe kann auch bei der in Fig. 797 dargestellten Anlage erzielt werden durch Vorlage eines rechteckigen Joches vor dem polygonalen Schluss oder durch Verlängerung der sich an den Umgang setzenden Achtecksseiten.

Verschiedene Kapellenformen.

Alles über die Polygonbildung des Chores Gesagte findet auch auf die Kapellen Anwendung und jedes regelmässige oder unregelmässige Vieleck würde dieselben bilden können, soweit die Seiten noch eine angemessene Grösse erhalten.

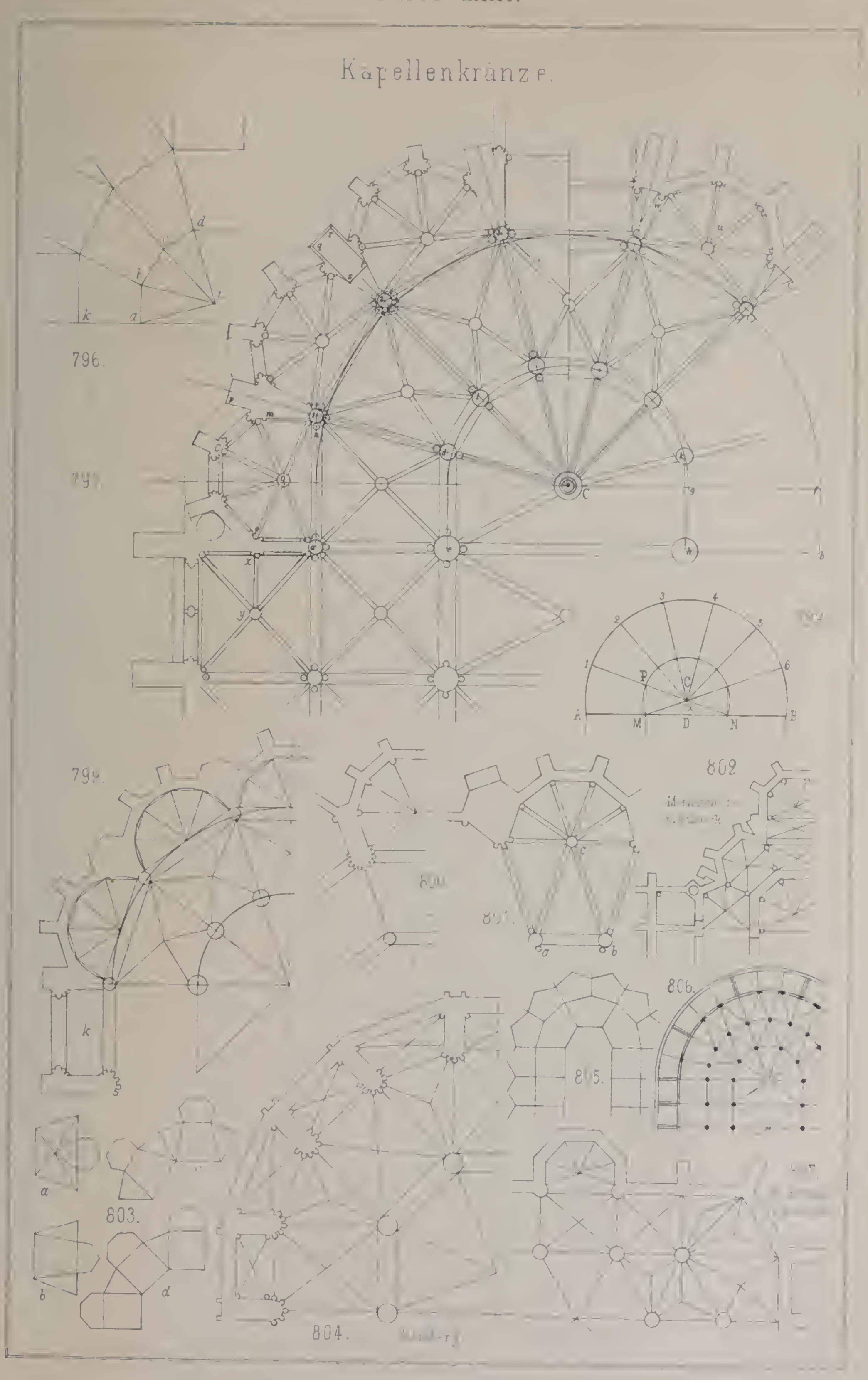
Dem sehr verbreiteten Grundriss nach fünf Seiten des Achtecks würde am nächsten der nach vier Seiten des Sechsecks stehen, der sich z. B. in dem Chor des Freiburger Münsters findet.

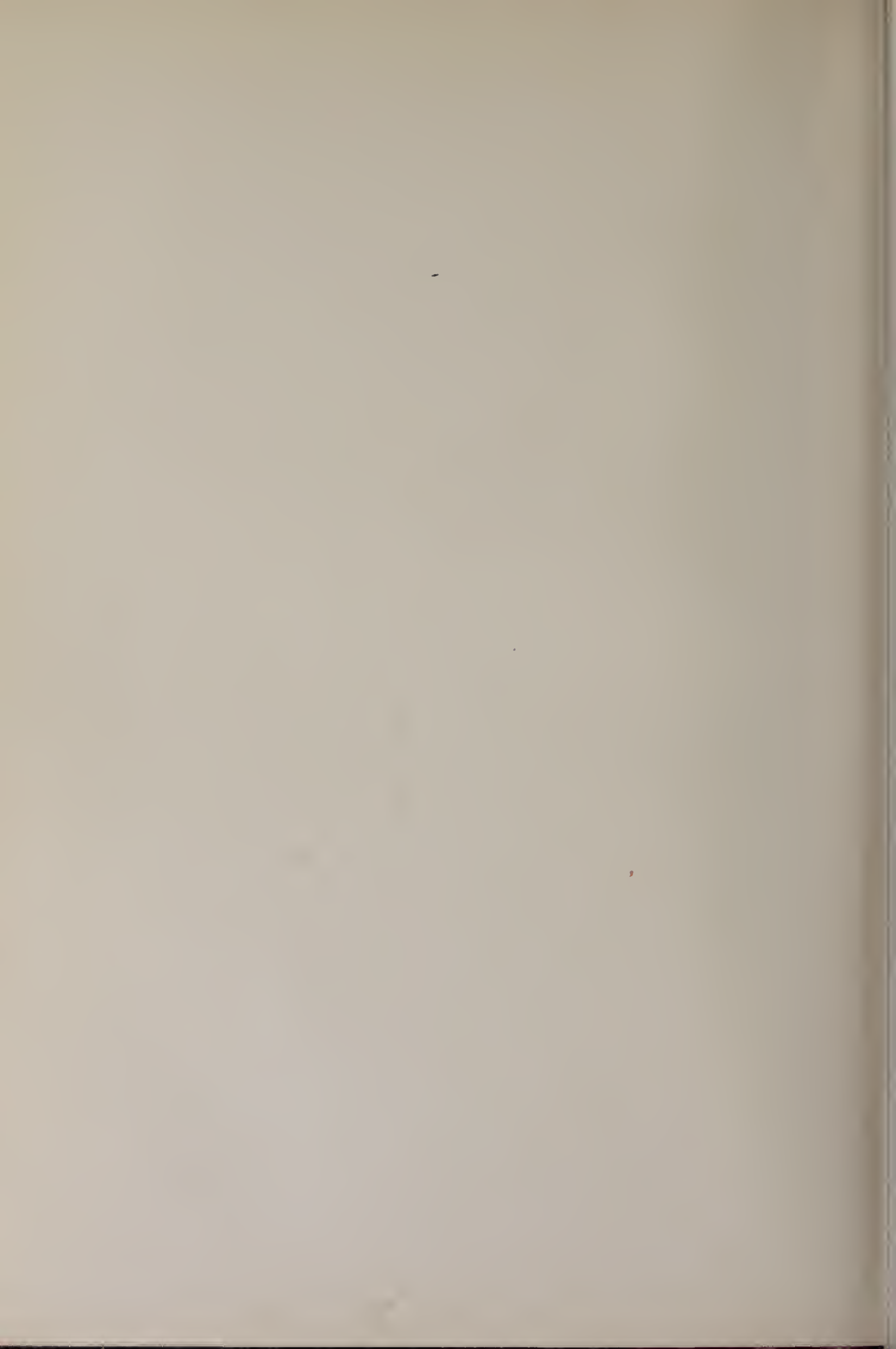
Der Schluss nach dem halben Polygon, also nach drei Seiten des Sechsecks, fünf des Zehnecks, usf. wird hinsichtlich des Rippensystems eine der in Fig. 728, 729, 730 angegebenen Auflösungen ermöglichen.

Wenn die Kapellen wie in Fig. 799 nur aus dem halben Polygon ohne vorgelegtes rechteckiges Joch bestehen, so wird es erwünscht sein, das Rippensystem des vorliegenden Joches des Umgangs mit dem Kapellenpolygone in Verbindung zu bringen, wie Fig. 801 zeigt, d. h. es wird der Schlussstein *c* in die Mitte des die äussere Polygonseite des Umgangs bildenden Bogens zu liegen kommen und von den gegenüberliegenden Chorpfeilern *a* und *b* werden Kreuzrippen nach diesem Schlussstein geschlagen werden, deren Schubkraft den Kapellenrippen das Gleichgewicht hält. Im Chor der Kathedrale von Soissons findet sich diese Anordnung, welche dem Wesen nach nur eine Anwendung des für den hohen Chor angenommenen Rippensystems auf die Kapellen darstellt.

Die Vereinigung der Kapellen mit den anstossenden Feldern des Umgangs zu einem Gewölbejoch findet sich in vereinfachter Weise an einzelnen norddeutschen Werken wieder, so an der Marienkirche in Lübeck (s. Fig. 802).

Es unterscheidet sich das System derselben von dem des Chores von Soissons dadurch, dass der für den polygonen Schluss der Kapellen erforderliche Raum nicht dem Umgang vorgelegt ist, sondern aus der Breite desselben genommen ist, so dass streng genommen dem hohen Chore die Kapellen unmittelbar anliegen und der Umgang nur durch die Durchbrechung der dieselben scheidenden Wände entsteht, daher, wie Fig. 802 zeigt, nur die halbe Weite der Seitenschiffe erhält.


Kapellenkränze.
796.
797.
798.
799.
800.
801.
802
803.
804.
805.
806.



Die Anlage von flacheren etwa nur nach drei Zehneckseiten gebildeten Kapellen vor den die volle Breite behauptenden Jochen des Umgangs würde eine Vermittelung beider Anordnungen darstellen und so den Seite 299 angeführten Anordnungen beizuzählen sein, durch welche die unbequeme Grösse der äusseren Polygonseiten des Umgangs zu beseitigen wäre.

Als wirkliche Kapellen mit darin aufzustellenden Altären können die so gewonnenen Räume jedoch nicht gelten. Deshalb sind denselben in der Kathedrale von St. Quentin noch nach dem vollen Achteck gestaltete Kapellen vorgelegt, wie Fig. 794 zeigt. Der Reichtum wird bei diesen Beispielen dadurch noch erhöht, dass die Kapellen eine geringere Höhe als der Umgang erhalten haben und somit über den auf die Säulen gespannten Scheidebogen noch eine von je drei zweiteiligen Fenstern durchbrochene Wand zu stehen kommt. Eben darin liegt aber die Schwäche der Konstruktion, weil die Kapellen vermöge der niedrigeren Lage ihrer Gewölbe denen des Umgangs nicht entgegen wirken können, mithin die Schubkräfte der Rippen *rr* nur ein unvollkommenes Widerlager finden.

Kapellenkranz mit Zwischenräumen.

Kapellen mit Zwischenräumen, welche noch Fenster zur direkten Beleuchtung des Umgangs zwischen sich lassen, treten früher auf als geschlossene Kapellenkränze. Schon an romanischen Werken, wie St. Godehard in Hildesheim, häufiger aber in Frankreich, erscheinen kleine halbkreisförmige oder nach einem grösseren Segment gebildete, aus der Aussenmauer des Umgangs vortretende Kapellen. In der gotischen Kunst werden die Kapellenmauern zu Widerlagern für die eine weitere Teilung der Umgangsjoche bewirkenden Gewölberippen. Demgemäss ändert sich das System dieser Gewölbe. Entweder wird die Trapezform beibehalten und das nach aussen gekehrte Gewölbdreieck durch zwei Teilrippen vom Schlusssteine aus in drei Unterabteilungen zerlegt (Fig. 803a), oder die Trapezform wird umgedreht, so dass die grössere Seite durch den Abstand der Chorpfeiler, die kleinere durch die Kapellenwände sich bildet, diese Trapeze werden dann mit Kreuzgewölben überspannt (Fig. 803b). Zwischen je zwei solchen Jochen fügen sich zwei dreieckige ein, wie an dem Chor der Kathedrale von Bourges, welcher jedoch nicht nach polygonaler Form, sondern nach dem Halbkreis gestaltet ist. Bei polygonaler Bildung würde das Polygon des Umgangs die dreifache Seitenzahl des hohen Chores erhalten (Fig. 803c).

Eine Vereinfachung bietet der Grundriss der altchristlichen Rundbauten, dessen rechtwinkligen Jochen sich je eine Kapelle vorlegen würde, während die dazwischen liegenden Dreiecksseiten von Fenstern zu durchbrechen wären (Fig. 803d).

An den Seite 299 erwähnten deutschen Werken, welche diese Anordnung der Umgangsgewölbe zeigen, ist der hohe Chor nach dem Achteck gebildet. Die Kapellenwand ist dabei ein Sechzehneck, dessen Seiten gleich werden, wenn die Umgangsweite gleich der Diagonale aus dem Quadrat der Polygonseite ist. Die Anwendung desselben Systems auf das Zwölfeck am Chor der Kathedrale von le Mans hat aber bei der sich aus letzterem Polygon ergebenden geringeren Neigung der auf den Polygonseiten senkrechten Rechtecksseiten darauf geführt, die Rechtecke wieder in sich nach aussen schwach verengende Trapeze umzuwandeln, welchen die Kapellen anliegen und zwischen welchen sich die weit kleineren fensterdurchbrochenen Grundlinien der Dreiecke finden.

Eine wirkliche Vereinfachung des konstruktiven Systems wird bei Verwendung von Strebebogen auf keinem der zuletzt angedeuteten Wege gewonnen, weil die durchgehende gerade Linie durch Strebepfeiler, Chorpfeiler und Schlussstein verloren geht, daher die Notwendigkeit eintritt,

den Widerstand gegen das Gewölbe des hohen Chores durch zwei von jedem Chorpfeiler aus nach den äusseren Strebepfeilern gespannte Strebebogen hervorzubringen. Diese Vermehrung der Strebepfeiler und Strebebogen ist aber schon deshalb nachteilig, weil dadurch das Hauptobjekt, der hohe Chor, dem Blick entzogen wird. Es eignen sich daher alle solche Anlagen mehr für gleichhohe Schiffe.

Der einfachste Grundriss ergiebt sich, wenn jeder Pfeilerweite des hohen Chores ein trapezförmiges Joch entspricht und dann Kapellen mit Fensterwänden wechseln, so dass also bei dem Chorschluss aus dem Zehneck sich drei Kapellen und zwei mit Fenstern versehene Joche ergeben, wie an der Kathedrale zu Rouen.

Umgänge und Chorkapellen von abweichenden Grundformen.

Bei jener oben angeführten Einteilung der Umgangsgewölbe in rechteckige Joche mit dazwischen liegenden dreieckigen (Fig. 803d) können auch letzteren Kapellen zugefügt werden. Ein solcher Kapellenkranz in der verdoppelten Zahl der Polygonseiten des hohen Chores findet sich z. B. in der Frauenkirche in Bamberg Fig. 804. Hier setzen sich die Umgangsgewölbe auf die nach innen in gegliederten Wandpfeilern sich aussprechenden Köpfe der Strebepfeiler, und die mit Fenstern durchbrochene Mauer ist in die Vorderflucht der letzteren gerückt, so dass sich neun rechteckige Kapellen bilden, deren Tiefe durch die Länge der Strebepfeiler gebildet wird.

Dieselbe Anlage, nur in reicherer Gliederung des Gewölbegrundrisses und mit polygonalen Kapellen, findet sich sodann auch am Chor des Freiburger Münsters (Fig. 805), hier ist der hohe Chor nach drei Seiten des Sechsecks, der Umgang nach sechs Seiten des regelmässigen Zwölfecks, der Übergang dieser Grundformen in einander aber durch ein Netzgewölbe gebildet. Den Polygonseiten des Umgangs legen sich dann die nach vier Seiten des Sechsecks gebildeten wieder mit Netzgewölben überspannten Kapellen so vor, dass sie mit zwei Sechseckseiten, in deren Mitte also eine Ecke sich befindet, über die dazwischen stehenbleibenden Strebepfeiler hinaustreten. Die Kapellen setzen sich dann auch an den parallelen Seiten des Umgangs zwischen den Strebepfeilern bis an die den Kreuzflügeln anliegenden Nebentürme fort.

Die Eigentümlichkeiten dieser Anlagen zeigt in einer zwar minder korrekt mathematischen, aber freieren und grossartigeren Auffassung bereits die Choranlage der Kathedrale von Paris (Fig. 806).

Hier ist der hohe Chor nach einem durch geradlinige Schenkel überhöhten Halbkreis gebildet, welcher durch sechs in gleichen Abständen stehende Rundpfeiler in fünf Teile geteilt und von den Seitenschiffen entsprechenden doppelten Umgängen umzogen wird. Die Umgänge werden von einander geschieden durch einen konzentrischen, aus sechs starken den Chorpfeilern gegenübergestellten und fünf schwächern dazwischenstehenden Pfeilern gebildeten Kreis, so dass den fünf Pfeilerweiten des Chores zehn des Umgangs entsprechen. Dieser zweite Pfeilerkreis wird wieder von einem dritten konzentrischen umzogen, welcher sich durch sechs den stärkeren Pfeilern gegenüberstehende Strebepfeiler und je zwei dazwischen befindliche gegliederte Pfeiler bildet.

Nur die westlichen, an die parallele Verlängerung anstossenden, durch die Strebepfeiler bewirkten Abteilungen dieses äusseren Kreises sind statt durch zwei nur durch einen gegliederten Pfeiler geteilt. Zwischen die erwähnten sechs Strebepfeiler legen sich dann die einem späteren

Umbau angehörigen nach Ringteilen gebildeten Kapellen. Der Chor wird also von zwei Umgängen umzogen, die in Dreiecksfelder zerfallen, und zwar entsprechen einer Pfeilerweite des Chores im ersten Umgang drei, im zweiten fünf Dreiecke.

Nach allen bisher aufgeführten Systemen wird die Grundform des hohen Chores konzentrisch von den Umgängen und den Kapellenkränzen umzogen. Durch die ausgiebige Anwendung von Dreiecksfeldern würde sich auch ein jedes beliebige Polygon in ein anderes von beliebiger Seitenzahl überleiten lassen. Derartige Anordnungen sind freilich nicht zu suchen, können indes in einzelnen Fällen durch die lokalen Verhältnisse gefordert erscheinen.

Statt weiterer Erklärung wollen wir auf zwei, freilich erst der letzten Periode der gotischen Kunst angehörige Beispiele verweisen.

An St. Etienne in Beauvais, von deren Choranlage Fig. 807 das Motiv darstellt, wird der hohe Chor nach drei Seiten des Sechsecks geschlossen. Von den beiden Seitenschiffen schwingt eins um den Chor herum, das andere hört stumpf auf, so dass hier ein nur durch kleine schräge Seiten abgestumpfter geradliniger Abschluss entsteht, aus welchem nur eine östliche Kapelle hervortritt.

Demselben Grundmotiv folgt die Choranlage von St. Germain l'auxerrois in Paris nur mit dem Unterschied, dass sämtliche Joche der Ostseite nach Kapellen von allerdings sehr unregelmässiger Grundform sich öffnen, die innerhalb der östlichen geradlinigen Begrenzung sich halten.

Die Grundrissanlage zwischen Chor und Kreuzschiff.

Die Kapellen des Chorumganges bilden einen äusseren Vorsprung gegen die Flucht der Seitenschiffe. In der Regel jedoch ist der Raum zwischen diesem Vorsprung und den Kreuzschiffen ausgefüllt durch eine von Anfang beabsichtigte oder nachgeholte Fortführung der Kapellen bis an die Kreuzschiffe oder durch doppelte Seitenschiffe am Chor. Die fortgeführten Kapellen haben denselben polygonalen Abschluss wie am Chor (Freiburg), oder sie liegen zwischen den Strebepfeilern als einfache rechteckige Joche (siehe k in Fig. 799).

Die grossartigste Anlage ist die der doppelten Seitenschiffe, wie sie Fig. 797 zeigt, und findet sich in Deutschland in Köln und Altenberg, sowie an den Kathedralen von Amiens und Beauvais und vielen anderen französischen Werken. Es treten die äusseren Schiffe dann ihrerseits wieder vor den Kapellen vor, so dass ihre östlichen Strebepfeiler die westlichen Kapellenfenster verdecken würden. Es findet sich daher in der Regel der zwischen diesen Strebepfeilern und den schrägstehenden Polygonseiten der Kapellen sich ergebende Raum durch die Anlage eines Treppenturms ausgefüllt (s. Fig. 797), welcher von der Kapelle oder dem östlichen Joch des Seitenschiffs aus zugänglich ist.

Die Mauer zwischen den letzten Kapellen und dem Seitenschiff hat den seitlichen Druck der Kapellenrippe oo_1 in Fig. 797 aufzunehmen. Derselbe ist so gering, dass die Mauer keine grosse Stärke erfordert, zumal bei einer Ausfüllung der Ecke, andrerseits könnte auch der Schub durch eine Teilrippe xy im Seitenschiffgewölbe aufgehoben werden.

6. Die Grundrissbildung der Türme.

Der Zweck der Türme ist ein wesentlich demonstrativer, sie sollen durch ihre hochragende Gestalt und durch den Schall der Glocken die Stelle der Kirche weithin verkünden und zugleich die Eigentümlichkeiten der ganzen Bauanlage zu einem gesteigerten Ausdruck bringen.

Stellung der Türme.

Folgt aus dem ersten Zweck die Bedingung einer vorherrschenden Höhenrichtung, so verlangt der zweite, dass die Türme der Kirche nicht zufällig angebaut sind, sondern zu gewissen Hauptteilen derselben in einer innigen Beziehung stehen.

Wir haben demnach zu unterscheiden:

1) Dem Mittelschiff zugehörige Türme,
2) den Seitenschiffen zugehörige Türme.

Die ersten finden ihren Platz:

a) über der mittleren Vierung der Kreuzkirchen als Zentraltürme,
b) am Westende des Mittelschiffs,
c) an den Nord- und Südenden der Kreuzflügel,
d) über oder neben dem Chorschluss.

Die zweiten stehen ebenso naturgemäss:

a) vor oder über den westlichen Jochen der Seitenschiffe,
b) über den äussersten Jochen der die Kreuzschiffe begleitenden Seitenschiffe,
c) über den östlichen Jochen der Seitenschiffe vor dem Anfang des Chorpolygons,
d) in den Winkeln zwischen Langhaus und Kreuzflügeln über den betreffenden Seitenschiffsjochen.

Diese Turmstellungen lassen sich in mannigfaltiger Weise verbinden, es kommen besonders die folgenden Fälle vor:

1) Die gewöhnliche Anlage „eines“ Westturms.
2) Zwei Türme vor den Mitten der Kreuzflügel, wie an St. Stephan in Wien.
3) Ein Zentralturm.

Eine Verbindung dieser beiden ersten Anlagen mit einander kommt unseres Wissens nirgends vor.

Eine Verbindung des letzteren mit der ersten oder zweiten oder mit beiden Anlagen findet sich nur an Werken des Übergangsstiles und verlangt, dass der mittlere Turm die übrigen an Grösse überragt, hat dabei aber immer das Missliche, dass für die rechtwinklige Ansicht ein Turm den oder die andern verdeckt.

4) „Zwei“ Westtürme.
5) Die Verbindung derselben mit einem Zentralturm.
6) Sechs Türme an den Endpunkten von Langhaus und Kreuzflügeln in Verbindung mit einem Mittelturm, wie sie sich an der Kathedrale von Laon findet und in Reims beabsichtigt war.
7) Die Verbindung der letzteren Anlage mit der von zwei weiteren Türmen vor dem Anfang des Chorpolygons, wie sie in Chartres beabsichtigt war.

Mit den beiden letzteren Anlagen muss die des Zentralturms um deswillen verbunden sein, damit über der grossen Zahl der konkurrierenden Türme sich ein herrschender erhebt.

Zentraltürme.

Die Anlage eines Zentralturmes, welche sich in Deutschland seltener, häufiger in Frankreich und England findet, erfordert im Grundriss die S. 295 abgehandelte Verstärkung der Kreuzpfeiler und kann die wohlfeilste von allen sein, wenn überhaupt ein Kreuzschiff vorhanden ist. Wenn jedoch der Turm grosse Massen hat, so entstehen Schwierigkeiten für die Aufführung der Vierungspfeiler und die Aufnahme des Schubes der den Turm tragenden Scheidebogen. Wesentlich gesteigert wird die Wirkung durch in der Nähe des Zentralturms befindliche kleinere Treppentürmchen etwa an den Ecken der Kreuzflügel wie an Notredame zu Dijon.

Turm über dem Chor.

Die Anlage eines Turmes über dem Chorschluss verträgt sich nicht wohl mit der polygonalen Bildung desselben und findet sich nur über quadratischen Chören an einzelnen Bildungen der Spätzeit, so in äusserst malerischer Weise an der zweischiffigen Kirche von Niederasphe in Oberhessen. Mit der Anlage eines Kreuzschiffs ist sie um deswillen unvereinbar, weil in der äusseren Ansicht der über dem Kreuz erwartete Turm an die verkehrte Stelle verrückt erscheinen würde.

Ein einzelner Westturm.

Das westliche Ende des Mittelschiffs bietet, wenn wir von der Anlage der Kreuztürme und der letztgenannten absehen, die einzige nur einmal an der Kirche vorkommende Stelle und es wird daher hier eine symmetrische Gestaltung der Kirche mit der ökonomisch vorteilhaften Einzahl der Türme vereinbar. Ferner bietet die Breite des Mittelschiffs dem beabsichtigten Turm eine grosse Basis und gestattet daher eine mächtigere Höhenentwicklung, als solche über den schmäleren Seitenschiffen möglich wird. Hierin liegen die Vorteile der einfachen Westtürme. Dagegen ist denselben der Nachteil eigen, dass sie in der Façadenbildung für die rechtwinklige Ansicht wenigstens, eine ungebührliche Alleingeltung beanspruchen; dieser Nachteil wird am stärksten bei einschiffigen Kirchen hervortreten, wo der Turm die ganze Giebelseite verdeckt. Er verringert sich in dem Masse, als der Turm von den Seitenschiffen eingebaut ist.

Damit die Beziehung des Turmes zum Mittelschiff fasslich werde, muss die Weite des letzteren das Turmquadrat bestimmen. Da aber die notwendige Stärke der Turmmauern oder der letztere ersetzenden Bogen und Pfeiler die der Scheidebogen und Schiffspfeiler übertrifft, so ist hier ein weiter Spielraum gegeben, innerhalb dessen jene Bestimmung zu verstehen ist.

So kann die lichte Turmweite der lichten Mittelschiffsweite oder die Seite des äusseren Turmquadrats der Mittelschiffsweite mit Hinzurechnung der Pfeilerstärken entsprechen, oder die Achse der Pfeilerreihe sich in der Mittellinie der Turmmauerdicke fortsetzen, oder endlich diese Fortsetzung das äussere Turmquadrat begrenzen. Für alle diese Verhältnisse würde sich eine reiche Zahl von Beispielen anführen lassen.

In der Längenrichtung ist der Turm gewöhnlich mit seiner vollen Grundfläche frei vorgelegt und zwar entweder der inneren, oder, wie in Wetter, der äusseren Flucht der Westmauer.

Der innere Raum des Turmes bildet entweder, wie an dem Freiburger Münster, eine offene Vorhalle, wobei das Kirchenportal in die östliche Turmmauer

rückt, oder aber er ist zur Kirche gezogen, die östliche Mauer durch eine Bogenöffnung durchbrochen und das Portal in die westliche Mauer gelegt. Eine dritte Anlage würde die einer abgeschlossenen, also nach Westen und Osten mit Thüren versehenen Vorhalle sein.

Die verschiedenartige Ausbildung dieser Turmräume soll weiter unten mit der Entwicklung von Durchschnitt und Aufriss untersucht werden.

Der Zusammenhang mit der Kirche spricht sich deutlicher aus, wenn zu beiden Seiten des Turmes die Seitenschiffe sich in je einem Joch fortsetzen, so dass der Turm etwa bis zur Mitte eingebaut ist, oder wenn, wie an der Kirche zu Frankenberg, sich denselben zu beiden Seiten je zwei Joche anlegen, so dass die Westmauer der Seitenschiffe ganz oder nahezu in die westliche Turmflucht rückt.

Diese Seitenjoche würden sich mit jeder der oben angeführten Verwendungen des inneren Turmraumes vereinigen lassen, sie könnten noch darauf führen, die Thür in die Mitte der Turmgrundfläche zu rücken (Fig. 808), so dass die Hälfte des Turmes die Vorhalle bildete, die andere Hälfte aber zum Inneren gezogen würde (s. Fig. 808). Für letztere Hälfte wird der Zusammenhang mit der Kirche vollständiger, wenn sie sich auch seitwärts nach den anliegenden Seitenschiffsjochen öffnet, wenn also die östlichen Ecken des Turmes von freistehenden Pfeilern getragen werden, wie die rechte Hälfte derselben Figur zeigt.

Sollen sich die Seiten eines völlig eingebauten Westturmes öffnen, so würde sich bei zwei dem Turm anliegenden Seitenschiffsjochen ein in der Mitte der Seite des Turmquadrats stehender Pfeiler ergeben, wie die linke Hälfte von Fig. 809 zeigt. Die Weglassung dieses Pfeilers würde dagegen auf nur „ein“ und zwar längeres, mit dem sonstigen System der Seitenschiffsgewölbe nicht übereinstimmendes Seitenjoch führen (s. d. rechte Hälfte von Fig. 809) oder endlich eine eigentümliche, etwa der Fig. 90 und 90a entsprechende Auflösung der Seitenschiffsgewölbe bedingen, wie sie sich in noch komplizierterer Weise an St. Pierre in Löwen findet.

Es lässt sich daher ein völliges Öffnen der drei Turmseiten nach der Kirche mit der Anlage eines Westturmes nur in etwas gewaltsamer Weise vereinigen, während das Öffnen zweier Westtürme nach innen durch das geringere Mass der erforderlichen Pfeilerstärke erleichtert wird.

Türme vor dem Kreuzschiff.

Alles soeben über die Westtürme Gesagte gilt in gleicher Weise von den den Kreuzschiffen angelegten Türmen. Weitere Verschiedenheiten würden sich hier nur ergeben, je nachdem die Türme dem Vierungsquadrat unmittelbar anliegen oder von demselben durch ein etwa der Seitenschiffsweite entsprechendes Joch geschieden sind. Im ersteren Fall würden die Kreuzpfeiler zugleich innere Turmpfeiler werden und der Grundriss etwa die in Fig. 810 angegebene Gestalt erhalten.

Zwei Westtürme.

Die Anlage von zwei Westtürmen ist die dem System des Grundrisses angemessenste und auch für die Entwicklung der Westseite günstigste. Das Verhältnis der Turmquadrate zu den Seitenschiffen kann dasselbe sein wie das Verhältnis eines einzelnen Westturmes zum Mittelschiff. Nur bringt es die beschränkte Weite der Seitenschiffe mit sich, dass gewöhnlich die lichte Weite der Seitenschiffe mit jener der Türme übereinstimmt, letztere daher mit dem Überschuss ihrer Mauerdicke einerseits über die äussere Flucht der Seitenschiffe vorspringen, andererseits den eingeschlossenen Teil des Mittelschiffs verengen.

Eine weitere Vergrösserung der Turmquadrate ergiebt sich dadurch, dass die Mittellinien derselben über die der Seitenschiffe hinausrücken, die Türme daher

nach aussen einen bedeutenderen Vorsprung bilden, als durch die blosse Mauerstärke (s. Fig. 811). Es ist die letztere Anlage sogar die gewöhnlichere und findet sich in allen Perioden der gotischen Kunst, von der frühesten Zeit (Kathedrale in Noyon) bis zum Ende des XV. Jahrhunderts (St. Martinskirche in Kassel). Freilich schliesst sie eine gewisse Willkür in sich. Die Vergrösserung der Turmfläche kann so weit gehen, dass die Seitenschiffsmauern auf die Mitte des Turmes stossen, die Türme daher diejenige Grösse erhalten, welche ihnen durch die Anlage doppelter Seitenschiffe zugeteilt würde.

Westtürme vor doppelten Seitenschiffen.

In den Türmen vor doppelten Seitenschiffen sind bei vollständigem Zusammenhang derselben mit der Kirche für das Gewölbe- und Pfeilersystem drei Anordnungen möglich. Es kann nämlich die Pfeilerreihe zwischen den Seitenschiffen sich in den Türmen fortsetzen und hier zu vier Gewölbejochen mit Zwischenpfeilern in der Mitte jeder Quadratseite des Turmes und einem Mittelpfeiler im Zentrum der Grundfläche führen, wie in dem Kölner Dom. Es kann ferner diese Zweiteiligkeit nur bis an die Zwischenpfeiler der Turmwand gehen und der innere Raum des Turmes zur Vermeidung der freien Mittelsäule mit einem achtteiligen Kreuzgewölbe überspannt werden, wie in der Kathedrale von Paris. Schliesslich würde auch die Zweiteiligkeit der Seitenschiffsgewölbe mittelst eines Systems von Dreiecken vor dem Anschluss an den Turm in die Einheit aufgelöst werden können, etwa nach Fig. 812. Auch ein Hochschieben des Anfallspunktes nach Fig. 90 wäre in den Seitenschiffen oberhalb der Turmöffnung möglich.

Einen gewissen Einfluss üben diese verschiedenen Gewölbeanlagen auf die Portalbildung an den Türmen. Ein Zusammenfassen nach Art der Fig. 812 führt naturgemäss auf die Anlage eines auf die Mitte sich öffnenden Portales, sie ist an der Kathedrale von Paris in der Weise durchgeführt, dass der oben erwähnte Zwischenpfeiler in der Mitte der westlichen Turmseite zugleich Trennungspfeiler der zweifachen Thüröffnungen dieser Portale wird, weshalb im Gegensatz gegen die sonstige geringe Stärke der letztere Pfeiler durch die ganze Mauerstärke fasst, während die Bogengewände des Portals vor die Turmmauerflucht vorspringen und sich zwischen die Eckstrebepfeiler setzen. Im Kölner Dom dagegen hat die durchgeführte Zweiteilung auf die Verlegung der Turmportale in die dem Mittelschiff anliegenden Joche geführt, während die äusseren Joche neben den Eingängen liegen bleibende Kapellen bilden, welche sich durch Fenster nach Westen öffnen.

Überhaupt ist die Anlage von Portalen in den seitlichen Türmen nicht gerade unbedingte Regel. Sie fehlen z. B. an der Elisabethkirche zu Marburg, dem Dom in Meissen, der Laurentiuskirche in Nürnberg, sie fehlen ferner an den Seitenschiffstürmen der Kreuzflügel der Kathedralen von Laon und Reims.

Die völlige Vereinigung der inneren Räume dieser Seitentürme mit den Schiffen kommt sehr oft in der entwickelten Gotik vor. An vielen älteren Türmen ist der untere Raum völlig abgeschlossen, in der Regel auch an den norddeutschen Backsteinkirchen. Das Mittelschiff wird fast ausnahmslos zwischen den beiden Türmen hindurchgeführt, weil die Widerlager für ein zwischen die Türme einzuspannendes Gewölbe schon in denselben gegeben sind, auch die Fortführung des Mittelschiffs bis in die westliche Turmflucht durch die ganze Anlage gleichsam gefordert wird. Eine Weglassung dieses äussersten Mittelschiffsjoches, wie sie sich an der Westseite der Friedberger Kirche nach der ursprünglichen Anlage findet (s. Fig. 813), und wonach die Türme einen unbedeckten Vorhof *a* einschliessen,

führt nur zur Ersparnis eines kleinen Stückes Gewölbe, dagegen zum Verlust eines sehr nutzbaren Raumes und zu einer zerstückelten Gestaltung der Westseite.

Sowie die Seitentürme vor 'schmalen Nebenschiffen oft verbreitert werden, können Mitteltürme vor weitgespannten Mittelschiffen einschiffiger Kirchen im umgekehrten Sinne unter der Breite des Mittelschiffs bleiben (s. Fig. 814). Die Einengung kann so weit gehen, als es die Notwendigkeit, in dem unteren Raum des Turmes ausreichenden Platz für den Durchgang zu lassen, zulässt.

Bei einer solchen Anlage kann, wie in Fig. 814 angegeben ist, der Zusammenhang mit der Kirche ein engerer werden, wenn der Turm durch die Führung der Rippen als Gewölbewiderlager benutzt wird, wonach die Dreiecke *a b c* nach Fig. 57 oder 58 überwölbt werden und die Strebepfeiler an den Ecken *b* wegfallen können.

Vermittelst einer Auskragung ist dann noch die Möglichkeit gegeben, die untere Grundfläche des Turmes, statt nach einem Quadrat, nach einem Rechteck, und zwar durch zwei die Westmauer verstärkende Strebepfeiler zu bilden, von welchen aus sich nach beiden Seiten die die Turmmauern tragenden Kragsteine heraussetzen (s. den Durchschnitt Fig. 814a). Solche Bildungen können schliesslich in die erst höher ausgekragten Giebelreiter übergehen.

Unsymmetrische Anlagen.

Sowie alle in dem Vorhergehenden als symmetrisch bezeichneten Anordnungen dies nur in Bezug auf die Westseite sind, dagegen für die Nord- und Südseite unsymmetrisch werden, so kann bei einfacheren Werken auch für die Westseite von der Symmetrie abgegangen und dadurch in vielen Fällen materieller Nutzen und eine sehr malerische Gesamtwirkung erzielt werden. Berechtigende Gründe hierzu dürften wohl häufig in den lokalen Verhältnissen gefunden werden.

Solche unsymmetrische Anlagen ergeben sich z. B., wenn nur einer der beiden Türme hochgeführt wird oder bei geringeren Grössenverhältnissen etwa nur an einer Mauerecke dem durch die Strebepfeiler und die anliegende Mauer gebildeten Kreuzpunkt ein Türmchen aufgesetzt ist.

Bei der zweischiffigen Kirche mit ungleicher Jochbreite ergiebt sich eine sehr ansprechende Gruppierung, wenn sich der Turm vor das schmale Seitenschiff neben den Westgiebel setzt.

In Deutschland freilich ist im allgemeinen dem „gebildeten Publikum" die Symmetrie so heilig, wie es den Ägyptern die Hunde und Katzen waren, und etwas ihr Entgegenstehendes kaum durchzuführen. In England scheint man, wie viele neuere Kirchenbauten zeigen, auch in dieser Hinsicht grössere Freiheit zu gestatten. Es lässt sich freilich nicht leugnen, dass der monumentale Charakter durch eine unsymmetrische Turmanlage ebensoviel verliert, als die malerische Wirkung gewinnt. Nur sind leider die Fälle nicht selten, wo die beschränkten Mittel nur die letztere als erreichbar hinstellen.

Die Mauern und Pfeiler der Türme.

Gehen wir nun auf die regelmässigen symmetrischen Turmanlagen zurück, so tritt ein wesentlicher Unterschied danach ein, ob der Turm auf eine Verstärkung

der Mauer durch bis zur Basis hinabgeführte Strebepfeiler berechnet ist oder solcher entbehrt.

Volle Turmmauern unten.

Beim Turm ohne Strebepfeiler legt sich einfach das durch die Mauerdicke ergänzte Turmquadrat der inneren oder, wie in Wetter, der äusseren Mauerflucht der Westseite vor und gewährt für alle in der Höhe sich entwickelnden Einzelteile die erforderliche Basis. So können sich, wie an dem Turm der Frankenberger Kirche (s. Fig. 815), schon oberhalb des Portalstockwerks durch eine Absetzung der äusseren Mauerflucht Strebepfeiler ergeben, ohne mit den Mauern und Pfeilern der Kirche in Berührung zu kommen. Es könnte selbst der innere Raum des Turmes zur Kirche gezogen werden, wobei die östlichen Ecken durch freistehende Pfeiler zu tragen wären, für welche allerdings eine bedeutende Stärke erforderlich würde. Da sich die Turmwände gegenseitig verstreben, haben bei Türmen die Strebepfeiler nicht annähernd die Bedeutung wie bei den Kirchenschiffen. Immerhin kann bei grosser Höhenentwicklung durch Strebepfeiler an Masse gespart werden.

Aussen und innen herabgeführte Strebepfeiler.

Nehmen wir nun die Strebepfeiler als bis zum Boden hinabgeführt an, so würden die Pfeiler in die Richtung der Scheidebogen fallen müssen, und es würden sich zunächst bei einem aussen vorgelegten Turm die in der Fig. 816 gezeigten Fälle ergeben.

In der rechten Hälfte von Fig. 816 legen sich die Turmstreben der Innenflucht der Westmauer als innere Strebepfeiler vor, die Scheidebogen spannen sich von den Strebepfeilern, also von den Punkten *a* an, nach den nächsten Pfeilern und die zwischen den Strebepfeilern und neben denselben liegenbleibenden Räume sind mit Tonnengewölben überspannt.

In der linken Hälfte setzen sich wie im Freiburger Münster die Strebepfeiler unter die Scheidebogen, so dass von diesen nur der obere Teil ihrer westlichen Schenkel zur Entwicklung kommt. In beiden Fällen würden, wenn die östlichen Strebepfeiler von Grund auf angelegt werden sollen, grössere die Westmauer der Seitenschiffe seitlich durchbrechende Thüren oder Fenster aus der Achse gerückt werden müssen, wie dies in Freiburg hinsichtlich der westlichen Fensterrosen geschehen ist. Indes würde sich dieser Übelstand durch eine Verstärkung des Eckpfeilers *d* vermeiden lassen, wonach die betreffenden Turmstrebepfeiler sich auf die von *c* nach *d* in der linken Hälfte von Fig. 816 gespannten Bogen aufsetzen könnten.

Nehmen wir nun einen von den Seitenschiffen eingebauten, nach beiden Seiten geschlossenen Westturm an, so würden die Turmstrebepfeiler nach beiden Seiten sich ebenso unter die Gurtbogen, wie in Fig. 816 links nach Osten unter die Scheidebogen setzen oder wie in der rechten Hälfte von Fig. 817 sich unter die Kappenfluchten setzen, oder endlich es würde den dem Turm anliegenden Seitenschiffsräumen eine abweichende, dem Turm entsprechende Jocheinteilung aufgezwungen werden, nach Art der linken Hälfte von Fig. 817, d. h. es würde sich gewissermassen vor der Westseite der Kirche ein Querbau bilden, aus dessen Mitte der Turm sich erhöbe.

Die beiden Hälften von Fig. 817 zeigen weiter, wie sich der Turm nach drei Seiten öffnen kann. In der rechten Hälfte ist der Kern der östlichen Turmpfeiler aus der Turmmauerdicke gebildet, welchem sich sodann die unter die Bogen wachsenden Strebepfeiler vorlegen. In der linken Hälfte ist etwa nach Anordnung von St. Peter in Löwen sowohl die Jochteilung wie der Turmpfeiler so gebildet, dass die Glieder organisch verwachsen. Die grosse

Stärke dieser Turmpfeiler stempelt die in Fig. 816 und 817 enthaltenen Anordnungen noch zu unvollkommenen. Soweit die Tragfähigkeit des Steines es gestattete, war man natürlich darauf bedacht, die Massen der Pfeiler einzuschränken; unter der Erde mussten dann aber die Fundamente wieder gebührend erbreitert werden, damit die Bodenbelastung unter den Pfeilern nicht grösser wurde als unter den übrigen Mauerteilen.

Bei den besprochenen Grundrissen mit allseits ausgebildeten Strebepfeilern bildet der Turm ein völlig selbständiges Ganze, das eine vollkommene Stabilität ohne irgend welche durch den Baukörper der Kirche geleistete Hilfe behauptet. Diese Isolierung des Turmes würde den Vorteil mit sich bringen, dass die durch das grössere Gewicht des Turmes bewirkten stärkeren Senkungen auf die Konstruktion der Kirche ohne Einfluss blieben. Es würde jedoch dieser Vorteil durch jeden Verband des Turmmauerwerks mit den Gewölbepfeilern wieder aufgehoben, es müssten daher, um ihn zu sichern, den etwa nach Fig. 817 gebildeten Turmpfeilern noch die zum Aufsetzen der Schiffsgewölbe nötigen kräftigen Pfeiler ohne irgend welchen Verband bis auf die Sohle der Fundamente hinab vorgelegt werden. Diese letztere Anordnung würde aber die so notwendige Erweiterung der Turmfundamente an der Kirchenseite unthunlich machen, sie ist daher nicht wohl ausführbar.

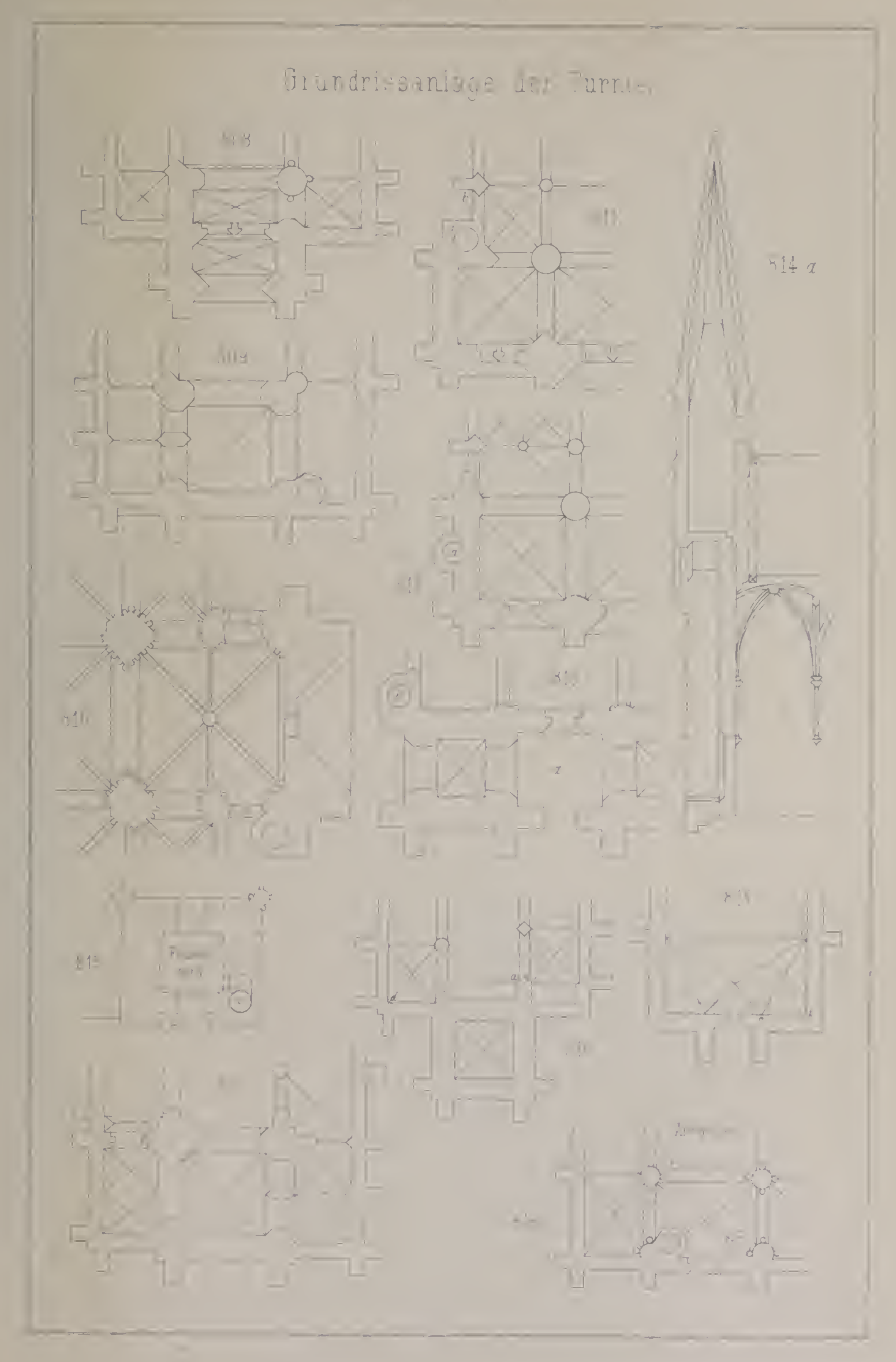
Wenn nach der ersten aller Bauregeln die Fundamente so bemessen sind, dass unter allen Pfeilern und Wänden jede Quadrateinheit des Erdbodens nur eine zulässige, bei nachgiebigem Boden überall gleiche Pressung erhält (vergl. S. 143 und 152), so ist es überhaupt nicht notwendig, auf eine stärkere Senkung der Turmmauern zu rechnen. Die Ursachen des Setzens einer solchen würden allein in der durch die grössere Last bewirkten stärkeren Kompression der Fugen des Turmmauerwerkes zu suchen sein. Diese Kompression aber hört auf mit der völligen Erhärtung des Mörtels. Da nun anzunehmen steht, dass zwischen dem Zeitpunkt, in welchem das Turmmauerwerk bis in die Höhe der Kirchenmauern gelangt ist, und der weiteren Ausführung der oberen Teile desselben ein für die Erhärtung des Mörtels ausreichender Zeitraum verstreichen wird, so kann ein starkes Setzen nur noch für die oberen, mit der Kirche nicht verbundenen Teile Statt haben. (Bei nachgiebigem Boden wird man den Bau so fortschreiten lassen, dass zu keiner Zeit die Bodenpressung unter benachbarten Teilen zu grosse Abweichungen zeigt.)

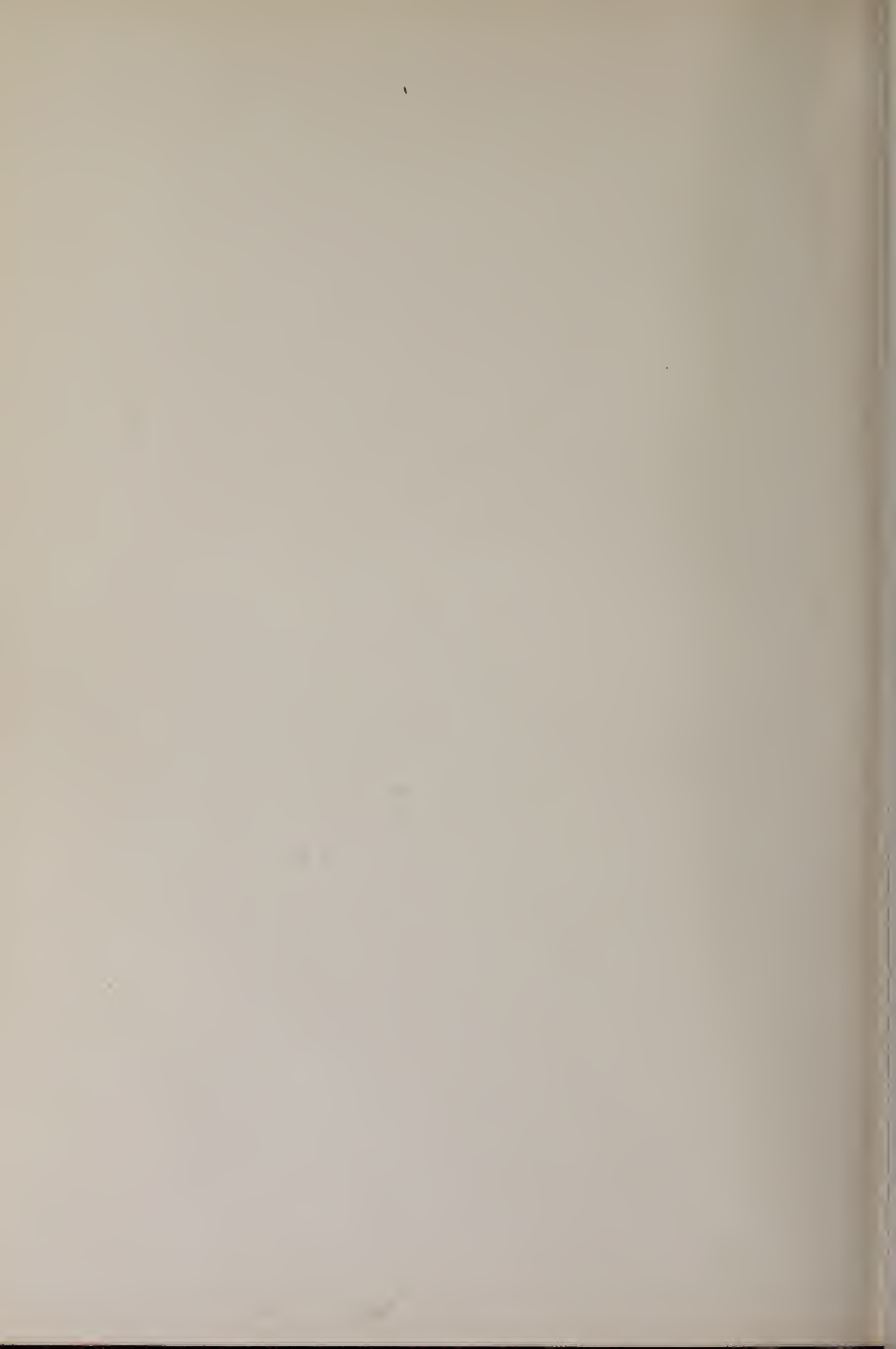
Einschränkung der inneren Turmpfeiler.

Durch die Auflösung der Selbständigkeit des Turmes sind aber die Mittel zu einer bedeutenden Massenverringerung der östlichen Turmpfeiler gegeben, und zwar aus den folgenden Gründen. Es war hauptsächlich die Anlage der Strebepfeiler am Turm, welche jene unbequeme Stärke bedingte. Nun sollen aber die Strebepfeiler erstlich eine Abweichung von der lotrechten Stellung verhindern, also gewissermassen eine Absteifung des Turmes bewirken, dann aber zweitens die tragende Grundfläche der Fundamente an den Punkten vergrössern, wo die Wirkung der Last sich konzentriert, also auf den Ecken.

Der letztere Zweck lässt sich aber bei der in der Regel bedeutenden Tiefe solcher Turmfundamente schon durch eine stärkere Böschung derselben erreichen, und was den ersten betrifft, so würde die Verstrebung eben so vollständig sein, wenn die Strebepfeiler völlig von der Turmmauer getrennt und etwa nur in verschiedenen Höhen durch starke Bogen mit derselben verbunden wären, wie sie denn auch bei vielen Kirchen über jeder Galerie von Durchgängen durchbrochen sind. Dem durch solche isolierte Strebepfeiler geleisteten Dienste entspricht aber vollkommen diejenige Verstrebung, welche den inneren Turmpfeilern durch die anschliessenden Scheidebogen und die darauf befindlichen Mauern zu teil wird. Es bleibt demnach für diese inneren Turmpfeiler nur noch die Notwendigkeit be-

Tafel LXXII.





stehen, dass sie eine zum Aufsetzen der oberen, über das Kirchendach hinausreichenden, beträchtlich verjüngten Teile ausreichende Fläche darbieten.

Bei zwei mässig grossen, je einem Seitenschiff entsprechenden Westtürmen kann es schon ausreichend sein, die Turmpfeiler, wie die Kreuzpfeiler, aus dem Mass von vier auf denselben zusammentreffenden Scheidebogen mit dazwischen stehen bleibenden Diensten für die Kreuzrippen zu konstruieren; die genügende Materialfestigkeit vorausgesetzt.

Bei einem grossen Westturm oder zwei Türmen vor doppelten Seitenschiffen würden auch die inneren Turmpfeiler zu verstärken sein und diese Verstärkung etwa nach der Bildung der Bogen aus drei Schichten, mithin nach der in Fig. 786d gezeigten Grundform der Kreuzpfeiler bewirkt werden können.

Weiter hinten ist der Grundriss und der innere Aufriss der unteren Teile der Turmpartie der Kollegiatkirche von Mantes wiedergegeben, welche in besonders deutlicher Weise zeigt, wie die Stabilität der inneren Turmpfeiler durch die Verbindung mit den anstossenden Bauteilen in der Grundanlage erzielt wurde.

Aufnahme der Strebepfeiler durch Scheidebogen.

Eine noch weiter gehende Massenverringerung der inneren Turmpfeiler würde in gebotenen Grenzen dadurch erzielt werden können, dass die Turmstrebepfeiler auf die Scheidebogen aufgesetzt würden.

Ein Aufsetzen von Pfeilern auf Bogen kann schon bei den in Fig. 811 dargestellten, das Mass der Seitenschiffe überschreitenden Nebentürmen deshalb nötig werden, weil sonst die östlichen Turmstrebepfeiler *a* die Fenster der Seitenschiffsjoche verschliessen würden. An der Kathedrale von Reims sind deshalb von der Ecke der Turmquadrate breite Bogen nach den nächsten Strebepfeilern der Seitenschiffe, also nach *b* in Fig. 811, gespannt, welche diese letzteren in die Flanke treffen und auf welchen die Turmstrebepfeiler in einer über die Scheitel der Bogen hinausfassenden Länge aufgesetzt sind. Es erfordert aber diese Anordnung eben die aussergewöhnliche Breite der Strebepfeiler, um dem durch die Belastung so wesentlich gesteigerten Schub dieser Bogen Widerstand zu leisten.

Einem wesentlich verschiedenen Verhältnis begegnen wir aber an den inneren Schiffspfeilern. Es ist kein einzelner derselben ausreichend stark, um dem durch die Belastung vergrösserten Bogenschub zu widerstehen, und es würde daher nur übrig bleiben, entweder die den Türmen zunächststehenden Pfeiler insoweit zu verstärken, dass in denselben jene Schubkraft zum Abschluss käme, oder den Widerstand der ganzen Bogenreihe mit in Rechnung zu ziehen und dann den Eckpfeiler derselben, also den Kreuzpfeiler, zu verstärken. In beiden Fällen also würde einem der erwähnten Pfeiler etwa das zugesetzt werden müssen, was von dem Turmpfeiler abgezogen werden könnte, ein wirklicher Vorteil daher nicht zu erzielen sein.

Wie weit die Einschränkung des inneren Turmpfeilers gehen darf, ist in wichtigen Fällen durch eine Berechnung zu ergründen, die der für Mittelpfeiler anzustellenden (S. 159 u. f.) verwandt ist. Es darf die Belastung die zulässige Beanspruchungsgrenze der Steine nicht überschreiten, es darf die Drucklinie unter dem Einfluss der Turm- und Schiffsgewölbe nach keiner Richtung zu nahe an die Aussenkante treten und es muss das Fundament so stark erbreitert werden, dass die Neigung zum Einsinken bei den Innenpfeilern nicht grösser ist als bei den äusseren. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind und in dem Fortschreiten des Baues dem Setzen des Mauerwerkes entsprechend Rechnung getragen wird, so ist bei nur einigermassen zuverlässigem Baugrund für den Turm nichts zu fürchten.

Die Tiefenanlage der Grundmauern wird durch ihre „allmähliche“ Breitenzunahme, durch

die Frostgrenze und die etwaige Möglichkeit eines umliegenden Erdabtrages bedingt. Die Turmfundamente bei hoch anstehendem festem Baugrund über Gebühr tief herabzutreiben, sie gar bedeutend gegen die Grundmauern der Kirche zu vertiefen, ist meist nutzlos, unter Umständen selbst bedenklich.

Mauerstärke.

Über die Stärken der Mauern und Pfeiler lässt sich nicht gut etwas Allgemeines sagen, da sie sich nach dem konstruktiven Prinzip des Ganzen, nach der Höhe sowie der Ausführung des Mauerwerks richten. Eine Aufzählung der betreffenden Verhältnisse an ausgeführten Werken könnte daher nur in Verbindung mit einer Darlegung der vollständigen Konstruktion wirklichen Nutzen haben und wir beschränken uns daher darauf, als Grenzen für die Stärke der Mauern des unteren Turmstockwerkes die Verhältnisse des Frankenberger Turmes, an welchem im unteren Stockwerk keine Strebepfeiler sich finden und die Maucrstärke $^{8}/_{14}$ des inneren Raumes beträgt, denen des Freiburger Münsters gegenüber zu stellen, an welchem die Mauerstärke $^{1}/_{8}$ des Turmquadrates ausmacht, während die Disposition der sehr langen Strebepfeiler derselben zu Hilfe kommt. An den norddeutschen Backsteinbauten findet sich, wegen der geringeren Festigkeit des Materials und der massigen Turmgestaltung das Frankenberger Verhältnis noch überschritten und beträgt z. B. an den Türmen der Marienkirche zu Lübeck die Mauerdicke etwa $^{3}/_{4}$ der lichten Turmweite.

Verbindung der Türme mit Treppentürmen.

Mit den Türmen sind in der Regel von unten aufsteigende Treppen verbunden, ja es werden dieselben notwendig, wenn die Zugänglichkeit der oberen Turmräume nicht von dem Bodenraum über den Gewölben aus bewirkt wird. Die Treppen können das Turminnere selbst ausfüllen, wie das bei den romanischen Westtürmen oft der Fall ist. Besser bleibt aber der Turm von der Treppe frei.

Wir haben hier hauptsächlich zwei Anlagen zu unterscheiden, nämlich die gewöhnlichen dem Äusseren vorgelegten Treppentürme und die seltener vorkommenden, völlig versteckten Treppenräume, die aus der Mauerdicke ausgespart sind, wie an dem Turm der Frankenberger Kirche (s. *a* in Fig. 815).

Mit der letzteren Anlage ist der Nachteil verbunden, dass sie das Mauerwerk schwächt, indem sie die kubische Masse desselben um die des Treppenhauses verringert. Sie würde daher in konstruktiver Rücksicht allenfalls dann zu rechtfertigen sein, wenn die Masse der Turmmauern und Pfeiler aus Bruchsteinmauerwerk bestände, so dass der Quaderbau der Treppe und der umgebenden Mauern durch die Güte des Materials und das Gefüge des Mauerwerks den Massenverlust ersetzte.

In noch höherem Grade aber ist sie dem künstlerischen Ausdruck des Turmes nachteilig. Denn gerade wegen der vorherrschenden Höhenausdehnung des Turmbaues wird die Treppe, welche die Zugänglichkeit der wichtigsten Räume des Turmes, des Glockenhauses, bewirkt, zu einer besonders wichtigen Anlage, die wie bei einem jeden mehrstöckigen Gebäude entweder von aussen oder von innen sichtbar sein sollte. Die innen sichtbare Lage einer massiven Treppe im lichten Turmraum wird aber unten die Turmhalle und oben den zur Anlage des Glockenstuhls und zu den Schwingungen der Glocken erforderlichen Raum leicht in unbequemer Weise beschränken, es bleibt daher meist nur übrig, sie dem Äusseren vorzulegen.

Die Verbindung des kleineren Treppenturmes mit dem grösseren Bau steigert zugleich die Wirkung desselben und verleiht ihm einen gewissen malerischen Reiz,

selbst dann, wenn die Anlage von der Symmetrie abweicht, wie denn bei einfacheren Werken nicht selten gerade die Anlage des Treppenturms den hauptsächlichen Schmuck des Ganzen ausmacht.

Die gewöhnlichen Anordnungen der Treppentürme sind die folgenden:

1. Der Treppenturm liegt vor den Mitten der in die Längenrichtung fallenden Turmseiten entweder so, dass der innere Raum der Mauerflucht vorliegt, oder dass er in dieselbe einschneidet (s. Fig. 812 bei *a*).

2. Der Treppenturm steht in Verbindung mit den Strebepfeilern an der vorderen oder hinteren Ecke des Turmes (s. Fig. 811 bei *a*). Er lehnt sich einem Strebepfeiler an, steht in dem geöffneten äusseren Winkel zwischen den beiden ins Kreuz gestellten, oder sitzt zwischen einem Strebepfeiler und der Schiffsmauer (s. Fig. 813 bei *b*).

Bei reicherer Auflösung des ganzen Turmbaues in ein System von Pfeilern und Bogen, wie sie sich an den grösseren Kathedralen findet, übt eine solche unsymmetrische Anordnung einen gewissen Einfluss auf das Ganze aus. So liegen die Treppentürme an Ste. Gudule in Brüssel den Westseiten der Türme vor und den äusseren Strebepfeilern derselben an, beschränken also hierdurch die Grösse der betreffenden Quadratseiten um ihr eigenes Breitenmass. Dennoch ist an den so beschränkten Westseiten der Türme dieselbe architektonische Einteilung durchgeführt, wie an den Längsseiten, so dass also die Mitte der Architektur der Westseiten aus der Mittellinie der Turmquadrate fällt. Die Möglichkeit dieser Anordnung liegt in dem wagerechten, eines Helmes entbehrenden Abschluss der Türme, welche in den durch die Treppentürme flankierten, nach jeder Seite von zwei Schallöffnungen durchbrochenen Glockenstuben ihren oberen Abschluss finden, würde aber wesentlich erschwert sein bei der notwendig zu dem Ganzen bezüglichen Anlage eines Helmes.

Der Helm macht im Gegenteil die völlig reguläre Einteilung des ganzen Turmes zur Notwendigkeit, in deren System dann allerdings die unsymmetrisch angelegten Treppentürme belebend eindringen, wie an den Türmen des Kölner Doms, an welchen gerade diese Treppenanlage einen der interessantesten und reichsten Teile ausmacht.

Die Treppentürme in dem geöffneten Winkel zwischen zwei ins Kreuz gestellten Strebepfeilern werden zuweilen zu einem selbständigen Teile der Westseite, wie an der Kathedrale von Coutance, an welcher jene Strebepfeiler die Seitenwände der viereckigen Treppentürme bilden, also ihre selbständige Gestaltung aufgeben.

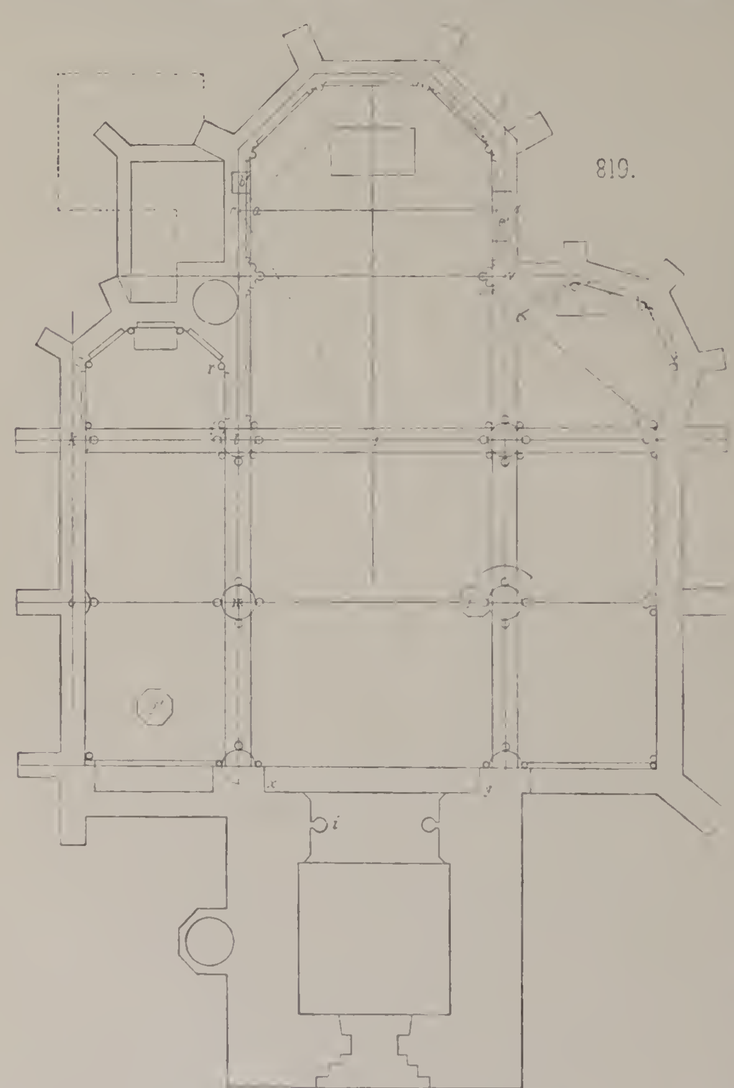
So können ferner auch alle in den Figuren 742—746 gegebenen Anlagen an Türmen vorkommen.

Massive Treppen im Innern der Türme finden sich in der Kirche von Ahrweiler (s. Fig. 818), wo von den beiden die eine nur bis auf die Gallerie oder Emporbühne, die zweite in die oberen Turmstockwerke geht. Treppen an der Ostseite der Türme, die sich durch kleine Schlitzfenster nach der Kirche öffnen, oder Treppen, die ganz frei im Schiff oder im Turm an der Ostwand liegen, kommen auch hier und da vor. Verschiedenartige andere mit der Aufrissentwicklung zusammenhängende, sich erst in den oberen Stockwerken entwickelnde Treppenanlagen können erst in Verbindung mit jener besprochen werden.

7. Nebenbauten der Kirche, innere Einrichtung, Lettner.

Die Sakristei.

Die von allen christlichen Konfessionen geforderten Sakristeien haben bei neueren Kirchenbauten auf manche Absonderlichkeiten geführt, indem man von der Notwendigkeit der Symmetrie durchdrungen sie teils in Pseudoapsiden verlegte, während die Kirche selbst innen sich mit viereckiger Grundform behelfen musste, teils sie durch ein entsprechendes Duplikat jener obersten Bedingung der Symmetrie anpasste.



In den Verhältnissen gewöhnlicher Pfarrkirchen genügt „eine“ Sakristei, während an grösseren Kirchen, wie Kathedralen, deren zwei und ausserdem noch verschiedene Säle erforderlich werden können.

Hinsichtlich der für diese Nebenbauten geeigneten Anlagen können drei Arten unterschieden werden:

1. Sie liegen in einem dem System der Kirche zugehörigen Raum, also z. B. in einem oder mehreren Jochen der den Chor begleitenden Seitenschiffe, oder bei den Choranlagen mit Umgang und Kapellenkranz in den zwischen die Kapellen und Kreuzflügel eingeschobenen rechteckigen Jochen.

2. Sie bilden unmittelbar äussere Anbauten an den Langseiten des Chores oder an dem polygonalen Chorschluss (s. Fig. 819 links).

3. Sie werden zu selbständigen mit der Kirche etwa durch einen Gang verbundenen Gebäuden, wie durch die punktierten Linien in Fig. 819 angedeutet wird.

Die erste, nach der modernen Auffassung „die monumentale Wirkung des Ganzen durch keinerlei Auswüchse beeinträchtigende" Anordnung dürfte gleichwohl dem Wesen der Sache am mindesten angemessen sein, insofern sie für die fraglichen Räume eine ungebührliche Gleichberechtigung mit der Kirche beansprucht und denselben eine recht unbequeme Höhe und Fensteranordnung vorschreibt. Unseres Wissens findet sie sich nur an einzelnen südfranzösischen Kathedralen.

Die zweite Anordnung ist die weitaus vorherrschende, sie entspricht dem unmittelbaren Bedürfnis in einfachster Weise und ist mit den geringsten Mitteln ausführbar. Weit entfernt, die Wirkung der Kirche im Äusseren zu beeinträchtigen, erhöht sie den malerischen Reiz, und wir wüssten eine Reihe von Kirchen namhaft zu machen, an welchen gerade die mit solchen Anbauten versehenen Choranlagen die Glanzpartie des Ganzen bilden.

Nur die Dachanlage bietet bei beschränkter Höhe der Kirche einige Schwierigkeiten.

Am einfachsten bildet das Dach der Sakristei eine Fortsetzung des Chordaches. Freilich werden dadurch die der Sakristei zugewandten Fenster der betreffenden Chorjoche verdeckt, ein Übelstand, welcher sich durch Anordnung von Wandmalereien auf den so gewonnen Mauerflächen beheben lässt. Eine musterhafte Anlage dieser Art zeigt die Kirche in Wetter, in welcher der untere Teil dieser Wandfläche zur Aufstellung eines Chorgestühles benutzt ist, während das darüber befindliche Wandgemälde, Maria von zwei Engeln gekrönt, zu den Füssen die Stifterinnen des Klosters darstellend, den Raum bis unter den Schildbogen füllt.

Durch Anlage eines selbständigen Satteldaches oder Zeltdaches über der Sakristei mit einer Rinne zwischen demselben und der Kirche, welche vor den Strebepfeilern der letzteren vorbeistreicht, so dass von derselben aus ein Pultdach sich nach den Kirchenmauern wieder hebt, können die Fenster der letzteren geöffnet bleiben. Es leitet aber diese Anlage durch die Selbständigkeit des Daches hinüber zu der dritten der oben angeführten, nach welcher die Sakristei als selbständiger Bau unbeirrt durch die Strebepfeiler der Kirche jede Form und Grösse erhalten kann. Als mittelalterliche Beispiele dieser Art führen wir die Sakristei der Kathedrale zu Amiens an, welche mit der durch einen Gang verbundenen Kirche einen schiefen Winkel bildet, ferner aber den jetzt zur Sakristei dienenden, ursprünglich eine Kapelle bildenden, der Ostseite des südlichen Kreuzflügels der Kathedrale zu Soissons vorgelegten zehneckigen Anbau. Ganz vorzüglich tritt diese Anlage in ihre Rechte, wo es sich darum handelt, eine grössere Zahl von Räumen der Kirche zu verbinden, und führt dann schliesslich auf den einen viereckigen Hof einschliessenden und sich nach demselben öffnenden sogenannten Kreuzgang, welchem die erforderlichen Räume anliegen.

Als wahre Muster dieser Art im kleineren Massstab können die von Viollet-

LE-DUC an den Kathedralen von Paris und Amiens ausgeführten Bauten gelten, während grossartige Anlagen noch in reicher Zahl in den Kreuzgängen vieler Kathedralen, Klöster und Stiftskirchen erhalten sind.

Die Hauptteile der inneren Einrichtung.

In Figur 819 ist der Platz für die Hauptteile der inneren Einrichtung der Kirche angegeben. Beispiele für die architektonische Ausbildung bietet das gotische Musterbuch.

1) Der Hauptaltar oder Hochaltar steht frei im Chorpolygon, während die etwa vorhandenen Nebenaltäre in der Ostlinie an die Wände der Nebenchöre zu stehen kommen. Dabei kann der Altar wie bei *a'* auf der rechten Seite der Figur vor einer Polygonecke stehen. Weitere Nebenaltäre können in Kapellen, im Querschiff und selbst im Seitenschiff Aufstellung finden.

2) Das Tabernakel *b'* ist eine mit einer Thür verschlossene Blende von etwa 60 cm Breite, 75 cm Höhe und 40 cm Tiefe, welche in der Regel in dem letzten Joche der Nordseite, zuweilen auch in der nordöstlichen Polygonseite, oder bei viereckiger Choranlage an der Ostseite ihren Platz findet. Das Innere des Tabernakels muss irgend ein vor Feuchtigkeit schützendes Futter erhalten. Vor demselben findet die ewige Lampe ihren Platz an einem metallenen, mit einer Rolle zum Aufziehen und Herablassen versehenen Arm. Das Tabernakel wird architektonisch umrahmt, oft schreinartig vorgezogen und schliesslich zu einem frei vor der Wand stehenden zierlichen Gehäuse mit reicher Fialenbekrönung umgebildet. Später hat die katholische Kirche meist Tabernakel und Hauptaltar zu einem sog. Tabernakelaltar vereinigt.

3) Die Piscina *c'* ist nach der einfachsten Einrichtung eine offene Blende mit einem ausgekragten steinernen Becken und liegt meist auf der dem Tabernakel gegenüberstehenden Seite. In früher Zeit kommen auch tischartige oder säulenartige Piscinen vor, so in Amelunxborn (vgl. got. Musterbuch 2 Aufl.).

4) Das Repositorium für die heiligen Öle *d'* ist e[illegible] [illegible]essbare dem Tabernakel ähnliche, jedoch kleinere Blende.

5) Ein Sedile *e'* ist ein in einer Mauerblende befindl[illegible] [illegible]eifacher Sitz für den celebrierenden Priester und die Diakonen. Die Sitze bestehen in der Regel in einer nicht über die innere Mauerflucht vortretenden steinernen Bank, bis auf welche die Blende hinabgeht. Seltener geht die Blende bis auf den Boden, so dass die Sitze, hineingestellt werden. Es sind diese Sitze, auch Levitensitze genannt, oft auch aus Holz oder Stein gebildet vor die Wand gestellt.

6) Die Aufstellung der Kanzel geschieht nach herkömmlicher Weise an einem der Schiffspfeiler. Von der Grösse der Kirche kann es abhängen, ob sie an dem den Triumphbogen tragenden oder an einem der mittleren Pfeiler anzubringen ist. Bei einschiffigen Kirchen kommt sie an eine der Mauerflächen zu stehen, bei vielen mit geringerer Chorbreite, wie z. B. zu Nieste (s. Fig. 733), steht sie oft an der durch die Differenz der Chor- und Schiffsweite entstehenden sehr geeigneten östliche Wand des Schiffes. Anfechtbar ist dagegen die häufig beliebte moderne Aufstellung hinter dem Altar, wonach der Sprechende in eine

möglichst grosse Entfernung von den Hörenden sich gerückt findet, von anderen Bedenken zu schweigen. Diese Aufstellungsweise kulminiert in den seit dem 18. Jahrhundert vielfach beliebten mehrstöckigen Aufbauten, welche Altar, Kanzel und Orgel vereinigen.

In den neuen katholischen Kirchen pflegen meist nicht alle vorgenannten Teile gefordert zu werden, beispielsweise verschwindet das Tabernakel infolge seiner Vereinigung mit dem Hochaltar.

In den protestantischen Kirchen kommt gewöhnlich nur der Altar und die Kanzel in Frage. Über die gegenseitige Stellung derselben sind neuerdings wieder Erörterungen gepflogen, besonders sind die Versuche wieder aufgenommen, die Kanzel in die Achse der Kirche zu stellen. Die reformierte Kirche, welche den Altar zu einem einfachen Tisch, unter Umständen gar zu einem beweglichen Tisch gemacht hat, kann sich leichter damit abfinden, die Kanzel in die Achse zu rücken. Bei der lutherischen Kirche, welche nicht darauf verzichten kann, die bevorzugte Bedeutung des Altares klar zum Ausdruck zu bringen, erwachsen der achsialen Kanzelstellung schwerer zu lösende Widersprüche.

Die Anregungen, den Chorraum in protestantischen Kirchen ganz zu unterdrücken, würden bei den reformierten Kirchen zu einer bedauerlichen Verarmung des Bauwerkes führen, sich mit der lutherischen Auffassung aber schwerlich vereinigen lassen, ganz abgesehen davon, dass es äusserst unzweckmässig und verschwenderisch ist, mit dem Altar und dem davor erforderlichen grossen Platze weit in den eigentlichen Kirchenraum hineinzurücken. Da der Altar noch einen Umgang von mindestens ein Meter Breite erfordert, würde man von seitlichen Sitzen selbst hinter den Altar sehen können, während doch nach der alten Auffassung die christliche Gemeinde, ebenso wie jede andere religiöse Gemeinschaft thunlichst in gleicher Richtung gegen die Stelle der religiösen Handlung gekehrt ist.

Die Forderung, dass der Geistliche den Mittelpunkt der Gemeinde bilden soll, trifft für das Leben und Wirken der Geistlichen in der Gemeinde zu, lässt sich aber im Kirchengrundriss nicht materiell zum Ausdruck bringen, da der Geistliche wie jeder Mensch eine Kehrseite hat und sich nicht wie ein Zirkusreiter im Kreise dreht.

Berechtigt ist dagegen die für evangelische Kirchen immer mehr betonte Forderung, dass der Geistliche auf der Kanzel und thunlichst auch vor dem Altar von allen Sitzen aus gesehen werden kann; diese Forderung muss naturgemäss dahin erweitert werden, dass der Geistliche auch seinerseits seine Gemeinde übersieht.

7) Der Taufstein oder das Taufbecken erhält seine herkömmliche Aufstellung in dem westlichen Joch des nördlichen Seitenschiffs bei g', zuweilen auch, wie im Dom und St. Marien zu Lübeck, zwischen den Westtürmen oder im westlichen Joch des Mittelschiffs. Die vollkommenste Anordnung besteht in einer besonderen Taufkapelle, welche neben den Türmen oder an der Ostseite der Kirche errichtet sein kann, schliesslich auch zu einem selbständigen Bau werden kann.

8) Die Orgel stammt aus Byzanz, sie ist angeblich im Aachener Münster zum ersten Mal kirchlichen Zwecken dienstbar gemacht und hat sich dann allmählich weiter verbreitet. Seit dem XIII. Jahrhundert hatten grosse Kirchen oft sogar zwei Orgeln, von denen die kleinere auf dem Lettner, die grössere wohl meist im westlichen Teil des Langhauses stand. Über die vorteilhafteste Art ihrer Aufstellung hat uns das Mittelalter deshalb ohne genauen Aufschluss gelassen, weil die wenigen noch erhaltenen alten Orgeln den noch älteren Kirchen nachträglich eingefügt sind, so dass es hauptsächlich darauf ankam, sich dem Vorhandenen anzupassen. Die verschiedenen uns bekannten Aufstellungen derselben sind die folgenden.

Im Münster zu Strassburg findet sich die Orgel über dem dritten Joch des nördlichen Seitenschiffs, so dass das Werk in einer nach aussen vortretenden auf-

gebauten Orgelstube und der Prospekt, d. i. die Vorderwand mit der Klaviatur, auf einem über dem betreffenden Scheidebogen ausgekragten Balkon seinen Platz hat. Auch in Ulm, Stendal und Dortmund (noch erhalten) fand sie im nördlichen Schiff ihren Platz.

In St. Severi zu Erfurt findet sich an der Ostwand des nördlichen Kreuzflügels ein ausgekragter Balkon, auf welchem früher eine kleine Orgel ihren Platz hatte.

In der Lübecker Marienkirche steht die Orgel auf dem Gewölbe zwischen den Westtürmen.

Die Gründe für die eine oder andere Aufstellung fanden bereits mehrfach so eingehende Erörterung*), dass kaum etwas hinzuzufügen sein möchte. Prinzipiell müssen wir einer dem Zentrum der Kirche näher gerückten Aufstellung den Vorzug geben, wie sie sich in Strassburg findet, insofern dieselbe der Anforderung des Hörens am besten entspricht, dem Organisten die direkte Aussicht auf den Altar gestattet und die Orgel in die ihr gebührende mehr nebensächliche Stellung rückt. Bei Hallenkirchen kann den Pfeilern des betreffenden Joches der Seitenschiffe ein niedriger gelegenes Gewölbe eingespannt werden, etwa in der Weise der Emporbühnen zu Ahrweiler und Kidrich a. R.**) Dennoch hält es schwer von der in den letzten Jahrhunderten allgemein gewordenen Aufstellung am Westende des Mittelschiffs abzugehen, teils der Gewohnheit gegenüber, teils weil das Publikum im allgemeinen eine unsymmetrische Anlage schwer begreift. Durch ihre gesteigerte Grösse hat die Orgel auch eine Bedeutung erhalten, welche den hervorragenden Platz rechtfertigt. Bei Anlage eines Westturmes können die Windladen oder auch das ganze Orgelwerk in das Innere des Turmes auf das untere Gewölbe verlegt werden, während die Orgelwand, der sogenannte Prospekt, unter dem Bogen xy oder i zu stehen kommt. Wenn der Turm weit gegen die Kirche geöffnet ist, so ist ein Zurückschieben der Orgel in demselben dem Schall nicht nachteilig. Vor der Orgel ist die Anordnung einer Bühne für die Sänger wenigstens dann erwünscht, wenn der Organist zugleich den Gesang zu leiten hat. Wenn dagegen ein besonderer Gesangesdirigent vorhanden ist, könnte auch wohl diese Bühne von der Orgel getrennt, etwa bei Aufstellung der Orgel im Seitenschiff in dem gegenüberliegenden Joch angebracht und so die Symmetrie gerettet werden. So findet sich in St. Severi in Erfurt eine solche Bühne in dem südlichen Kreuzflügel in derselben Stellung wie die Orgelbühne. Muss aber die Bühne an der Westseite ihren Platz haben, so kann sie bei geringerem Raumbedürfnis ausgekragt, bei grösserem von Pfeilern getragen werden. Bei geringer Länge der Joche kommen diese Pfeiler leicht den Schiffspfeilern so nahe zu stehen, dass es besser sein wird, dieBühne mit denselben in Verbindung zu bringen und etwa einen oder zwei Zwischenpfeiler anzuordnen, um die Spannung des Gewölbes und somit die

*) Reichensperger, „Fingerzeige“ „Organ für christliche Kunst“, „Kirchenschmuck“.

**) In der Stiftskirche in Wetter findet sich in dem letzten Joch des südlichen Seitenschiffs vor dem Kreuzflügel ein aus dem Ende des 15. oder dem Anfang des 16. Jahrhunderts herrührendes Gewölbe zur Aufnahme einer Orgel, dessen Kreuzrippen und Gurten Stichbogen sind und kaum 3 m Scheitelhöhe haben.

erforderliche Höhe zu verringern. Jedenfalls aber ist einer steinernen Bühne hier der Vorzug vor einer hölzernen zu geben.

Bei der Anlage von Doppeltürmen kommt das Orgelwerk zwischen dieselben und, wenn an der Westseite die Türme überhaupt fehlen, auf eine in die Kirche vorspringende Bühne zu stehen. Vielfach aber ist die Anordnung an der Westseite als ein Übelstand zu betrachten, schon um deswillen, weil der so eigentümlichen Ausdrucks fähige Charakter derselben dadurch gestört wird.

Grosse Rosenfenster an der Westseite der Kirche kommen leicht mit der Orgel in Widerstreit, so dass man selbst Orgeln in zwei an den Seiten aufgestellte Hälften zerlegt hat. Bei neuen Kirchen wird man bei westlicher Stellung der Orgel auf die Westfenster vielfach ganz verzichten, denn Licht verlangt das Orgelwerk nicht, wohl aber einen trockenen gleichartig warmen Platz.

Während Theophilus presbyter in seinen „schedula diversarum artium" um 1200 noch Orgeln beschreibt, die aus einer Stufenfolge weniger Pfeifen bestehen, hat sich die Grösse der Orgeln fortgesetzt gesteigert, so dass beispielsweise die 1883 gebaute Orgel im Dom zu Riga 124 klingende Stimmen enthält. Damit der Orgelton den Raum gut füllt, rechnet man bei kleinen Kirchen auf je 200 cbm eine klingende Stimme, während bei grossen Kirchen oft noch nicht einmal auf 500 cbm ein Register entfällt. Ein volles Register enthält 54 oder 56 auch bis 61 Pfeifen, (ein Bass im Pedal nur 27 Pfeifen) und erfordert eine Grundfläche von 2,4—3 m Länge bei 20 bis 30 cm Breite. Die Höhe, welche bei kleinen Werken wohl unter 3 m herabgedrückt ist, wird besser 4 m und bei grossen Orgeln über 5 m angenommen, es lässt sich dann das Gebläse (Bälge) unterhalb der Pfeifen im Werke unterbringen. Bei mangelndem Raum ist das Gebläse wohl in eine getrennte, in den Turm oder gar auf den Kirchenboden verlegte Kammer gebracht und die Luft durch einen kleinen Kanal dem Werke zugeleitet. Der etwa $1\frac{1}{2}$ m breite und mit Sitz $1\frac{1}{4}$ m tiefe Spieltisch kann vor oder neben der Orgel liegen, ausnahmsweise von derselben getrennt werden, er pflegt jetzt 2 (auch 3) Manuale und 1 Pedal zu erhalten. Das bisher durch Drahtzüge mit Hebeln (die sog. Abstrakten) bewirkte Öffnen der Pfeifen wird jetzt meist pneumatisch durch fingerdicke Luftkanälchen erzielt und kann bei grossem Abstande des Spieltisches auch durch elektrische Leitungen ermöglicht werden.

Die Anlage der Lettner.

Lettner (lectorium) bezeichnet eine Sprechbühne, welche, aus der Verbindung der Ambonen entstanden, zugleich eine Scheidung zwischen Chor und Langhaus abgiebt.

Es findet dieselbe ihren Platz entweder beim Anfang des hohen Chores unter dem Triumphbogen wie zu Naumburg, Gelnhausen, Wetzlar, Friedberg, Lübeck usw., oder an der westlichen Seite des Mittelquadrates, wie in St. Elisabeth zu Marburg, oder um ein oder mehrere Joche westlich gerückt, wie in den Klosterkirchen zu Maulbronn und Haina. Die Stellung bestimmt sich aus dem, von der speziellen Bestimmung der Kirche abhängigen, bei Klosterkirchen also besonders grossen Raumbedürfnis des Chores im Vergleich zur Kirche.

Von der Stellung ist in gewisser Hinsicht auch die Ausdehnung des Lettners abhängig. Unter dem Triumphbogen wird er sich nur über die lichte Chorweite erstrecken, an der Westseite des Mittelquadrates entweder die 3 Seiten desselben begrenzen oder, den Raum der Kreuzflügel dem hohen Chor hinzufügend, sich durch die östliche Bogenweite der Seitenschiffe bis zur Umfangsmauer fortsetzen. Die reicheren mit Umgängen versehenen Choranlagen können westlich gegen die Kirche durch den Lettner und seitlich gegen den Umgang durch die Chorschranken abgeschlossen werden.

Wenn wir von der ursprünglichen, aus der Verbindung der beiden Ambonen hervorgegangenen Gestaltung des Lettners absehen, für welche zudem in Deutschland kein Beispiel bekannt ist, so besteht er in der immer mit Durchgängen versehenen Mauer, vor deren Mitte auf der westlichen Seite sich ein Altar für den Pfarrdienst und über der sich eine Sprechbühne befindet, die indes schon aus akustischen Gründen nicht als Kanzel zur Abhaltung der Predigt, sondern nur zum Verlesen der Episteln und Evangelien zu benutzen ist.

Als Beispiele hierfür führen wir die jetzige der ursprünglichen nachgebildete Anordnung in der Elisabethkirche in Marburg an, sowie die ursprüngliche Anordnung zu Haina, welche wir in Fig. 822 im Durchschnitt darstellen.

Weitaus vollkommener in jeder Hinsicht ist die Anordnung der Sprechbühne auf einem den oben erwähnten Altar überdeckenden und demselben als Ciborium dienenden, von der Mauer des Lettners nach zwei freistehenden Säulen gespannten Gewölbe. Es findet sich dieselbe z. B. in der Kirche zu Friedberg (s. den Durchschnitt Fig. 821) und zu Gelnhausen (s. Fig. 820 und 820a).

Nach der ersteren eine geringe Höhe der Sprechbühne gewährenden Anordnung kann der nur eine mässige Ausdehnung erfordernde Treppenaufgang in der Mitte hinter dem Lettner liegen, während bei hohen Lettnern und entsprechender Disposition der Chorgestühle die Lage der Treppe an einem der Pfeiler, zwischen die der Lettner eingebaut ist, notwendig werden kann.

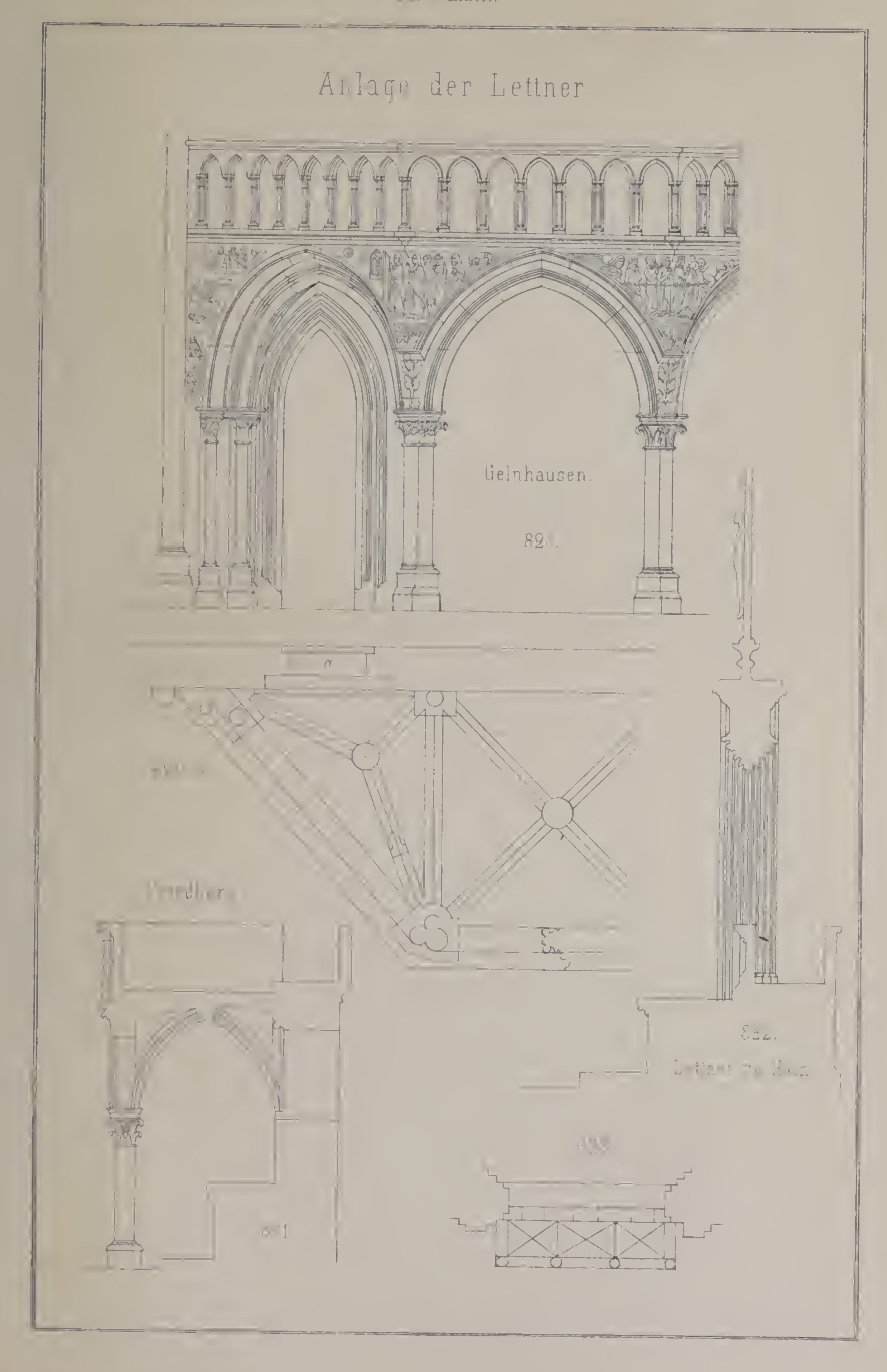
Durch dieselbe wird ferner die Anordnung eines Verbindungsganges auf der oberen Fläche der Mauer, mithin eine Erweiterung dieser letzteren durch eine Auskragung gefordert, welche dann auch zur anderen Seite der Bühne fortgesetzt wird, so dass sich zu beiden Seiten derselben offene von Brüstungen begrenzte Galerien bilden, wie in Friedberg.

Das Bestreben, die Weite dieser Galerien zu vergrössern, führt dann darauf, jenen Mauern bogenverbundene Säulenstellungen vorzusetzen, nach Art der unter den Brüstungen der Seitenschiffsfenster befindlichen Arkaturen, wie an dem westlichen Lettner zu Naumburg, und ferner die Säulen- oder Pfeilerstellung von der Mauer um eine gewisse Weite abzurücken und letztere mit Kreuzgewölben zu überspannen (s. Fig. 823).

Hiernach war die Beibehaltung der baldachinartig vorspringenden Sprechbühne überflüssig, da ja der ganze Lettner eine solche bildete, indes findet sich ein Anklang an dieselbe noch in der polygonalen Grundform (s. Fig. 820a). Unter dem mittelsten Joch findet der Altar seinen Platz.

Um den Hinblick auf den Altar so wenig als möglich zu beschränken, sind den Säulen in den meisten uns bekannten Beispielen die geringsten Dimensionen zugeteilt und ist die Stabilität dem Gewölbeschub gegenüber durch eiserne Anker gesucht, welche die Bogenanfänge nicht immer unmittelbar unter dem Kapitäl, sondern besser in der Höhe, in welcher die Schubkraft der Bogen wirksam ist, mit einander verbinden.

Die Rückwand öffnet sich nach dem hohen Chor durch 2 zu beiden Seiten des Altars befindliche Thüren (s. *a* in Fig. 820a), und ferner in einzelnen Fällen, wie in der Kollegiatkirche zu Wetzlar, durch eine oberhalb des Altars angebrachte


Anlage der Lettner
Gelnhausen.



vergitterte Bogenöffnung. Letztere ist indes unmöglich, wo, wie in Gelnhausen, an der Ostseite des Lettners ein Chorgestühl seinen Platz findet.

Über dem Lettner ist in der Regel ein mächtiger Kruzifix angebracht. Wo die Sprechbühne sich durch eine giebelbekrönte Bogenweite nach den Schiffen öffnet, steht der Kruzifix unmittelbar auf dem Giebel (s. Fig. 822).

Es wird jedoch diese Aufstellung unmöglich, wenn der Lettner nach oben mit einer Bühne oder Galerie abschliesst.

In letzterem Falle sind oberhalb der Bühne die Pfeiler, zwischen welche der Lettner eingespannt ist, durch einen hölzernen Querbalken verbunden, dem der Kruzifix oder die ganze Kreuzgruppe aufgesetzt ist. Es hängt auch wohl das Kreuz an eisernen Stäben unmittelbar von dem Schlusssteine des darüber befindlichen Bogens herab. Im Dom zu Lübeck ist jene den Kruzifix aufnehmende in überaus reicher Weise durchgeführte Holzkonstruktion der nächsten Pfeilerweite eingefügt.

Die ornamentale Ausführung der Lettner ist nach den Zeitperioden verschieden. Für die einfache, den älteren Beispielen eigentümliche Behandlungsweise giebt Fig. 820 ein Beispiel. Aller Schmuck besteht in den die Zwickel über den Bogen ausfüllenden Reliefs, welche die Auferstehung der Toten, den Aufgang zum Himmel, die Verjagung zur Hölle, und in dem äussersten aus unserer Figur nicht mehr ersichtlichen den Höllenrachen nebst den Verdammten zur Darstellung bringen.

An den späteren Beispielen wird die Ausführung der Architektur selbst eine reichere.

Die Bogen sind mit giebelförmigen oder geschweiften Wimpergen bekrönt, häufig mit kleinen hängenden Bogen besetzt, zwischen denselben erheben sich Baldachine oder Figurengehäuse, die mit ihren Bekrönungen zuweilen noch die obere Galerie überragen, die Zwickel werden mit Masswerk ausgefüllt, die Details immer feiner, kurz das Ganze gewinnt eben jenen, an den Sakramentshäuschen sich in seiner höchsten Blüte kundgebenden, überreichen Charakter.

Besonders deutlich spricht sich diese Umwandlung an dem Lettner des Domes zu Lübeck aus, der im 13. Jahrhundert*) in völlig einfacher Weise auf vier Granitsäulen in Ziegelmauerwerk ausgeführt wurde und etwa dem in Fig. 823 gegebenen Grundriss entspricht. Dabei bestand der einzige Schmuck wohl in einer Bemalung derjenigen Flächen, die in Gelnhausen mit Reliefs versehen sind. Zu Ende des 15. Jahrhunderts aber wurde die ganze Aussenseite bis über die Kapitäle hinab mit einem überreichen, aber meisterhaft durchgeführten Täfelwerk von Eichenholz umkleidet, in der der letzten Periode der Gotik eigentümlichen stylistischen Haltung, welches ursprünglich mit der grössten Farbenpracht bemalt war.

8. Die verschiedenen Systeme der geometrischen Proportionen.

Wenn die eigentliche technische Konstruktion nicht allein auf die verschiedenen Systeme des Ganzen und die daraus hervorgehenden Formenentwickelungen führt, sondern selbst für gewisse Einzelteile die Masse vorschreibt, so kann, wie wir im Verlauf dieses Buches mehrfach angedeutet haben, eine zweite rein geometrische Konstruktionsweise neben derselben hergehen, welche darauf gerichtet ist, die einzelnen Dimensionen zu präzisieren und zwischen denselben eine gewisse harmonische Proportion herzustellen**).

*) Nach Annahme des Baudirektors Schwiening zu Lübeck stammt derselbe aus späterer Zeit.

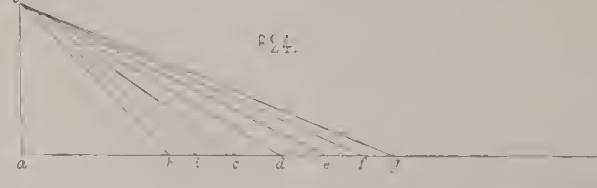
**) Dass man die Bedeutung solcher Massverhältnisse aber auch nicht überschätzen darf, ist weiter oben an geeigneter Stelle hervorgehoben.

Es ist ein solches Verfahren keine spezielle Eigentümlichkeit, keine willkürliche Erfindung der gotischen Kunstperiode, sondern nach neueren Forschungen die überkommene Erbschaft vorangegangener Jahrhunderte. Näheres hierüber enthält das grosse Werk von Henczlman: „Théorie des proportions appliquée dans l'architecture."

Indes sind schon vor und neben Henczlman verschiedene andere Systeme zu demselben Zweck entwickelt worden, welche wir im nachstehenden im grossen und ganzen anzudeuten uns beschränken müssen.

Der allen zu Grunde liegende Gedanke ist darin zu suchen, dass die Wirkung jeder architektonischen Gestaltung in dem Masse an Entschiedenheit und Einheitlichkeit gewinnt, als die verschiedenen Endpunkte derselben einer geometrischen Figur, z. B. einem Viereck oder Dreieck von gewissen harmonischen Proportionen sich einbeschreiben, als ferner alle Unterabteilungen, Gruppen und Einzelformen demselben Gesetze folgen, und sonach die sämtlichen räumlichen Masse des Ganzen in der gleichen harmonischen Proportion zu einander und zum Ganzen stehen. Bevor wir weiter gehen, müssen wir jedoch einschalten, dass die Befolgung dieser Gesetze nur da von Wert sein kann, wo sie der Perspektive nach zu übersehen ist, mithin nur auf die in derselben wagerechten oder lotrechten Ebene liegenden Punkte anzuwenden steht.

Das in dem gotischen Abc von Hoffstadt nach den uns erhaltenen Meisterregeln der Roriczer usw., sowie nach den mittelalterlichen Rissen und Modellen angenommene System besteht darin, dass zunächst die Einzelheiten des Grundrisses aus der Grundform derselben, also dem Quadrat, gleichseitigen Dreieck oder Fünfeck, gefunden werden und zwar aus einer einfachen Teilung der Seiten oder Diagonalen, ferner aus der Ineinander- und Umeinanderstellung der Grundform, aus der Übereckstellung derselben ineinander und durcheinander, dass also ihre verschiedenen Masse sich zu einander verhalten wie $1:2:3:4:5$ usw. und mit Berücksichtigung der Diagonalen wie $1:\sqrt{2}:2:\sqrt{8}$, sowie ferner mit Bezugnahme auf die Diagonale des aus derselben Grundform gebildeten Kubus wie $1:\sqrt{3}$ usw. Das Verhältnis $2:\sqrt{3}$ ergiebt sich hierzu ferner aus dem der Seite zur Höhe im gleichseitigen Dreieck. In gleicher Weise sind dann auch die Aufrissdimensionen aus den Verhältnissen der Grundform gefunden, wie denn überhaupt obigen Bedingungen auf diesem Wege völlig entsprochen werden kann, sobald die Wahl der betreffenden Grösse die richtige ist. Letztere hat nach der zuvor aus freier Hand gemachten Skizze zu geschehen, von deren Wert daher jener des fertigen Werks an erster Stelle abhängig ist. Ein Beispiel für dieses Verfahren bietet die weiter hinten angedeutete Roriczer'sche Fialenkonstruktion.



Dem Anschein nach wesentlich verschieden, in der Wirklichkeit jedoch auf fast dieselben Resultate führend, ist das in dem Jahrgang 1861 der Zeitschrift „the Builder" aufgestellte System von Hay. Den Ausgangspunkt desselben bildet, wie Fig. 824

zeigt, das gleichschenklige, rechtwinklige Dreieck *abc*. Es wird dann die Hypotenuse *bc* auf der Grundlinie von *a* nach *c* getragen, *cc* gezogen, *cc* von *a* nach *d* getragen, *cd* gezogen, *cd* von *a* nach *e* getragen, *ce* gezogen usw., und so eine Serie von Winkeln *abc*, *acc*, *adc*, *aec* usw. gewonnen, deren Bogen durch eine unbedeutende Rektifikation auf die Werte 45°, 36°, 30°, 27° gebracht werden. Zwischen diese Winkel werden dann noch diejenigen eingeschaltet, welche sich aus dem Rechteck ergeben, dessen Seiten zu einander in dem Verhältnis der Seite des gleichseitigen Dreiecks zur Höhe desselben stehen, also *aic*, und die aus letzterem nach dem gleichen System entwickelten, in unserer Figur nicht mehr dargestellten, und ferner die aus der Verdoppelung und Halbierung der bereits bestimmten sich ergebenden hinzugefügt, so dass sich die folgende Skala ergiebt:

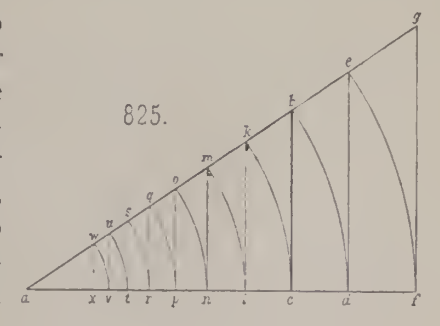
90°,	80°,	72°,	$67\frac{1}{2}$°,	60°,	54°,	$51\frac{3}{7}$°,	48°,	45°,
45°,	40°,	36°,	$33\frac{3}{4}$°,	30°,	27°,	$25\frac{5}{7}$°,	24°,	$22\frac{1}{2}$°,
$22\frac{1}{2}$°,	20°,	18°,	$16\frac{7}{8}$°,	15°,	$13\frac{1}{2}$°,	$12\frac{6}{7}$°,	12°,	$11\frac{1}{4}$°,

durch welche die verschiedenen harmonischen Rechtecke, welche die einzelnen zugleich übersehbaren Endpunkte in Grund- und Aufriss begrenzen, bestimmt sind.

Ein ähnliches, in etwas komplizierteres System ist das von Henczelman aufgestellte. Es ist *abc* in Fig. 825 das aus dem Kubus gebildete Dreieck von der Proportion $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$. Die kleine Seite *bc* ist dann die Einheit des zu konstruierenden Werkes; beim griechischen Tempel die Weite der Cella, bei einer gotischen Kirche vermutlich die des Mittelschiffs. Aus dem Dreieck *abc* werden dann nach einem dem Hay'schen analogen Verfahren durch Abtragen der Hypotenuse auf die grosse Kathete die Dreiecke *ade*, *afg* usw. und durch rückwärts gehendes Abtragen der grossen Katheten *ac* usw. auf die Hypotenuse die Dreiecke *akl*, *amn*, *aop* usw. gefunden, so dass die Katheten sämtlicher Dreiecke eine durch die Zwei- und Vierteilung weiter gegliederte Grössenskala bilden, welche die räumlichen Dimensionen des ganzen Werks, sowie aller Einzelheiten enthält.

In den „Entretiens sur l'architecture" von Viollet-le-duc ist ferner pag. 393 usw. ein System der Konstruktion entwickelt, welchem, wie allen Arbeiten dieses eminenten Autors, der Vorzug einer besonderen Präzision eigen ist.

Es sind darin 3 verschiedene Dreiecke entwickelt, nämlich 1) das gleichseitige, 2) das über der Diagonale der quadratischen Basis einer in dem normalen Durchschnitt nach dem gleichseitigen Dreieck gebildeten Pyramide, und 3) das in der Fig. 826 in folgender Weise gefundene. Es ist *abc* ein rechtwinkliges Dreieck, dessen Seiten, wie die eingeschriebenen Masse zeigen, in dem Verhältnis von 3 : 4 : 5 stehen. In der Mitte der Basis, also in 2, wird eine Lotrechte errichtet, deren Länge die der halben Hypotenuse, also $= 2\frac{1}{2}$ ist, und hiernach das Dreieck *aeb* gefunden, nämlich das Dreieck des normalen Durchschnitts der Pyramide des Cheops.



Die Höhe dieser Dreiecke im Vergleich zu der als Einheit angesehenen Grundlinie würde sein: 1) $\sqrt{3/4} = 0,86603$, 2) $\sqrt{3/8} = 0,61237$, 3) $5/8 = 0,625$. (Zwischen den beiden letzteren steht der goldene Schnitt $= 0,618$.) – In seinem „dictionnaire“ (Bd. VII, S. 535) teilt derselbe Verfasser drei Dreiecke mit, von denen sich zwei mit den soeben erläuterten decken. Diese drei sind 1) das rechtwinklig gleichschenklige Dreieck, dessen Höhe gleich der halben Grundlinie ist, 2) das sogen. ägyptisch gleichschenklige Dreieck mit einer Höhe, die $5/8$ der Grundlinie beträgt (siehe oben) und 3) das gleichseitige Dreieck.



826.

Aus jüngster Zeit, in der die Erforschung der Verhältnisse wieder in Fluss gekommen ist, sind drei Abhandlungen zu erwähnen:

1) Die Harmonie in der Baukunst von W. Schultz, Hannover-Linden 1891. 2) Ein Proportionsgesetz der antiken Baukunst und sein Nachleben im Mittelalter und der Renaissance von G. Dehio, Strassburg 1895. 3) Das Hütten-Geheimnis vom Gerechten Steinmetzen Grund von Dr. C. Alhard von Drach, Marburg 1897.

Schultz ist der Ansicht, dass die Griechen bestimmte Proportionen angewandt haben, die im Mittelalter noch bekannt waren und in der Renaissance verschwanden. Er nimmt an, dass man von dem in runder Fusszahl festgelegten Hauptmass ausging und alle kleineren Teile nach sog. harmonischen Rechtecken einschaltete. Letztere gewinnt er aus den 10 Proportionsformeln der griechischen Mathematiker, indem er eine Länge 1 nach diesen Formeln teilt und den Major (oder auch den Minor) zu der kleineren Rechteckseite macht.

Die erste sog. arithmetische Proportion liefert hiernach ein Rechteck mit den Seitenlängen 1 zu $2/3$. Die zweite sog. geometrische Proportion führt auf den goldenen Schnitt 1 zu $1/2\,(\sqrt{5} - 1)$ oder in Zahlen 1 zu 0,618034. Die dritte sog. harmonische Proportion ergiebt 1 zu $(2 - \sqrt{2})$ d. i. 1 zu 0,585786.

Von den übrigen griechischen Proportionen liefern 3 das Verhältnis 1 zu 1 (Quadrat), zwei andere Wiederholungen bereits angeführter Rechtecke und eine einen unbestimmten Wert.

Aus einer entsteht aber noch das Rechteck 1 zu $\sqrt{1/2}$ d. i. 1 zu 0,707107. Wir haben hier also wieder das Verhältnis der Diagonale des Quadrats zu der Seite des Quadrats.

Ausser diesen 4 Rechtecken und deren Ergänzungsrechtecken zum Quadrat schafft sich Schultz noch weitere Rechtecke, indem er Diagonale, grössere und kleinere Seite nach den 10 Proportionsformeln bemisst. Durch Verdoppelung, Halbierung der Rechtecke usw. wird die Stufenleiter noch mehr erweitert.

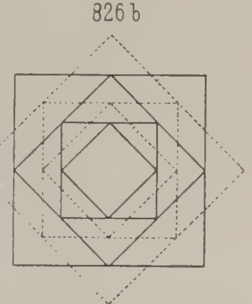
Dehio geht im Gegensatz zu der Mannigfaltigkeit der von Schultz mitgeteilten Verhältnisse lediglich vom gleichseitigen Dreieck aus und behauptet, dass dasselbe sowohl in der Antike wie im Mittelalter benutzt sei. Gestützt wird seine Ansicht durch Mitteilung einer 1391 von dem als „expertus in arte“ bezeichneten Sachverständigen Stornaloco angefertigten Querschnittszeichnung des Mai-

länder Domes und durch den Hinweis auf die italienische Vitruvübersetzung von Cesarino aus dem Jahre 1521. Die von Luca Beltrami (La certosa di Pavia S. 42) zuerst veröffentlichte Zeichnung wird nebenstehend (Fig. 826a) nach Dehio wiedergegeben.

826 a

Von Drach geht wieder auf die sog. Quadratur zurück, die in einem Ineinanderschachteln übereckgestellter Quadrate besteht (Hoffstadt, Roriczer usw. und das Verhältnis der Quadratseite zur Diagonale, also 1 zu $\sqrt{\frac{1}{2}}$ oder 1 zu 0,707107 liefert (vgl. Fig. 826b). Statt der Quadrate verwendet der Verfasser ein gleichschenkliges Dreieck mit einem Spitzenwinkel von 45°. In demselben fällt er von einem Fusspunkte beginnend in fortgesetztem Linienzuge Lote auf die Dreieckseiten, wodurch von der Spitze aus zu messende Teilstrecken entstehen, die nach dem obigen Verhältnis abnehmen. Die Anwendung dieses Dreieckes auf die Grundrisse und Aufrisse der Bauten nennt von Drach die $\frac{\pi}{4}$ Triangulatur. Mit Hülfe dieses in Fig. 826c abgebildeten Dreiecks glaubt von Drach auch den Schlüssel gefunden zu haben zu dem als Geheimnis betrachteten „Gerechten Steinmetzen Grund,“ der umschrieben wird in den von Heideloff, die Bauhütte des Mittelalters, angegebenen Versen, von denen die in Frage kommenden heissen:

826 b



— Sonder schnur recht, ein Linial
Durchzogen den Cirkel überall
So findst du Drei, in viere stehn,
Und also, durch eins, ins Centrum gehn,
Auch wieder aus dem Centro in drey
Durch die vier, im Cirkel ganz frey —
— Ein punct, der in den Cirkel geht,
Der im Quadrat und drey angel steht,
Trefft ihr den Punkt, so habt ihr gar
Und kommt auss Noth Angst und Gefahr. —

Für diese nicht leicht zu deutenden Verse lassen sich mit gleicher Berechtigung wohl auch noch andere Lösungen aufstellen.

Eine eingehende kritische Beleuchtung der einzelnen Abhandlungen möge unterbleiben, bemerkt muss aber werden, dass alle Verfasser noch nicht genügend

überzeugen, sobald sie ihre Systeme auf bestimmte Beispiele anwenden, was sich z. T. allerdings aus dem Misstrauen gegen die Genauigkeit der benutzten Aufnahmezeichnungen erklärt. Beispielsweise lassen sich zwanglos in die von Dehio mitgeteilten Zeichnungen ebenso viele Quadrate eintragen wie gleichseitige Dreiecke.

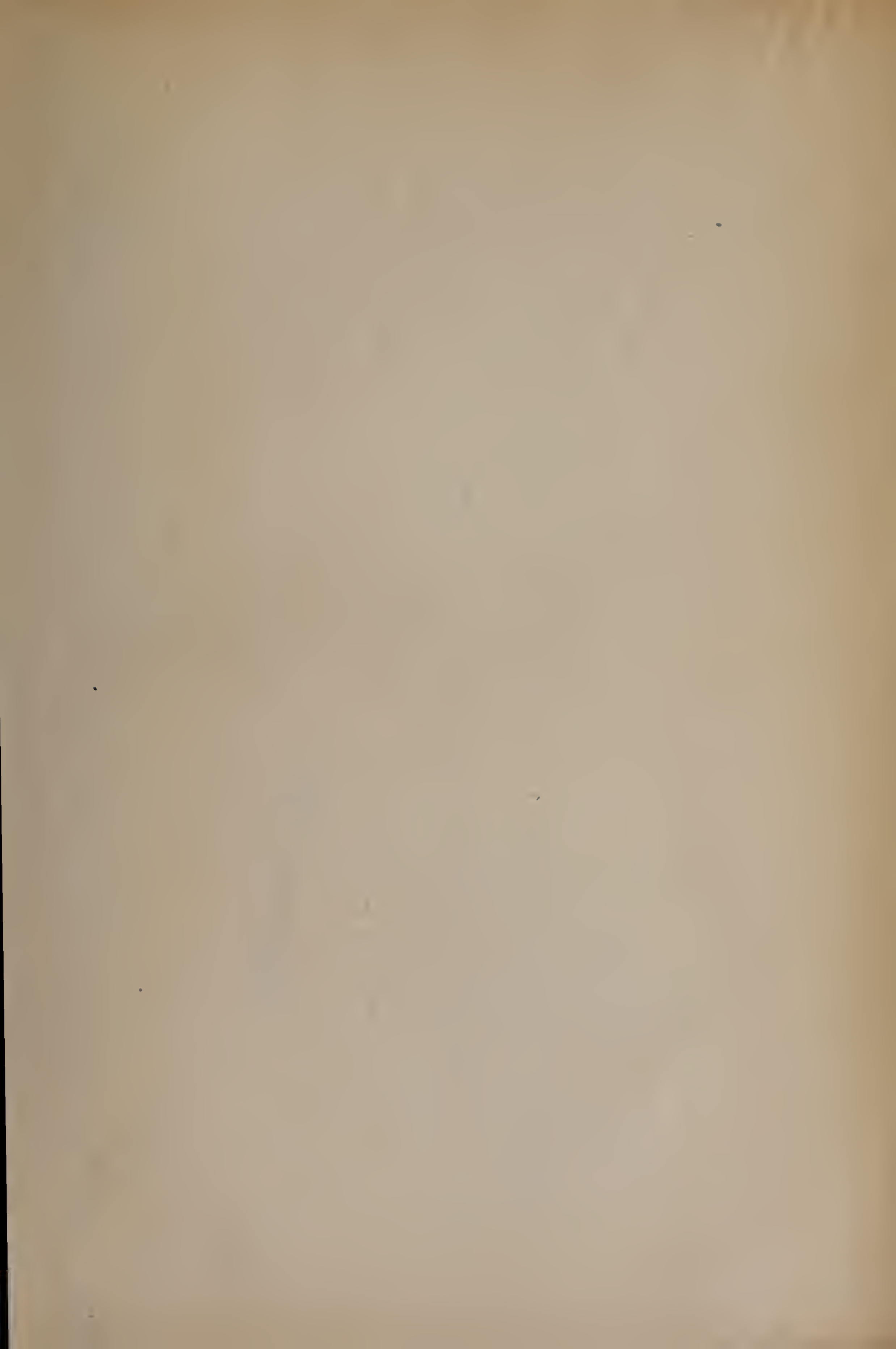
826 c

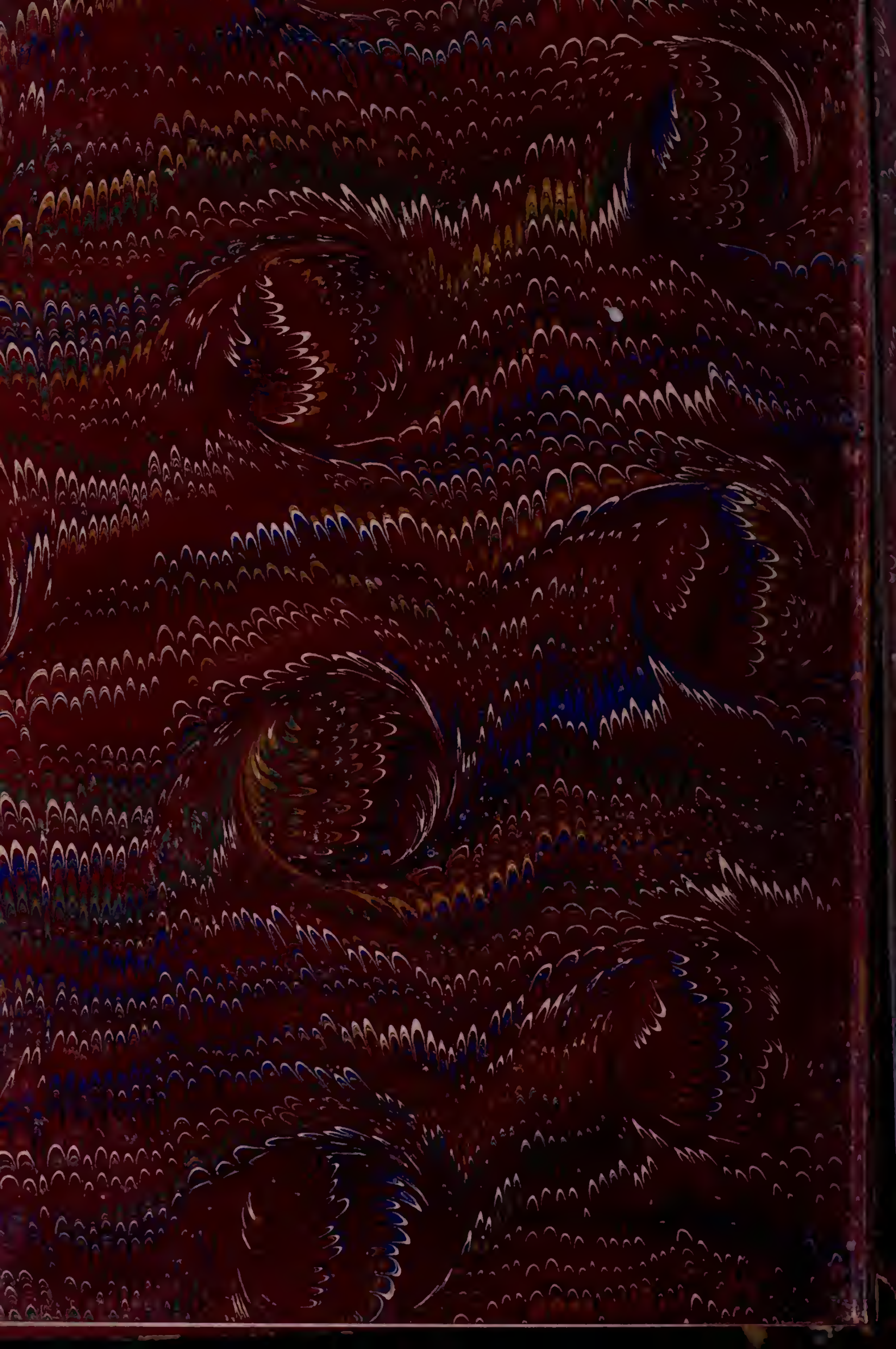
S E D C B A

SA : SB : SC : CD : SE
1 : 0,707 : ½ : 0,354 : ¼

Wenn die Forschung zu bestimmten Zielen führen soll, so ist es nötig, dass einerseits nur durchaus zuverlässige Zeichnungen oder ad hoc angestellte Messungen benutzt werden und dass anderseits der Phantasie der Forscher möglichst straffe Zügel angelegt werden. Soviel darf aber wohl jetzt schon als feststehend betrachtet werden, dass man die Kunst zwar nicht nach Hoffstadt'schem Vorgange in ein Zirkelsystem zwängen kann, dass aber jedenfalls im Altertum und Mittelalter die ewig wahren und unabänderlichen mathematischen Gesetze auch der Kunst dienstbar gemacht sind. Die zeitweise Anwendung der sogenannten Quadratur, d. i. Ineinanderschaltung übereckgestellter Quadrate, und der Triangulatur, die sich aus dem gleichseitigen Dreieck (oder Sechseck) herleitet, dürfte als erwiesen anzusehen sein.








GETTY CENTER LIBRARY
3 3125 00650 1213

